TERMA NIJE TEŠKA

ZBRIKA RIJEŠENIH PISMENIH ISPITA IZ UUT

Sastavili: Terma bois

PREDGOVOR

Zbirka „Terma nije teška" napravljena je sa ciljem što lakšeg i bezbolnijeg polaganja kolegija Uvod u termodinamiku. Zbirka sadržava sve ispitne rokove iz UUT iz 2017. i 2018. te 2 roka iz 2016. Većina zadataka u skripti provjerena je od strane profesora, asistenata i demonstratora tijekom konzultacija. Svi zadaci su u principu točno riješeni odnosno moguća je poneka pogreška u računu jer je ipak prvo izdanje, ali svi su postupci fizikalno točni i slijede osnovne zakone termodinamike. Dijagrami su nacrtani u približnom mjerilu zbog uštede vremena, više se pazilo na pravilan nagib pojedinih promjena stanja. Podaci očitani iz h-s dijagrama su unutar 5% greške. Kao savjet preporučamo da prvo pročitate knjigu i riješite zadatke iz zbirke. Nakon toga počnite riješavati ispitne zadatke po principu da prvo pokušate sami riješiti zadatak, a tek onda ako negdje zapne pogledajte rješenje. Ako vam neki zadatak nije jasan niti s rješenjem, predlažemo da odete na konzultacije ili demonstrature. Za kraj imajte na umu da su svi autori ove zbirke uspješno položili termu na istom ispitnom roku. Stoga, ako smo mi mogli položiti ovaj kolegij, nema nikakvog opravdanja zašto vi to ne biste mogli. SRETNO :)

Terma bois

Pismeni dio ispita iz kolegija Uvod u termodinamiku – grupa **B** √

01. travanj 2016.

1. ZADATAK

Desnokretni kružni proces s 0,5 m_n^3 idealnog plina izentropskog eksponenta 1,35 odvija se na sljedeći način:

1. Izobarna ekspanzija $1-2$
2. Politropska promjena $2-3$ ($n = 1{,}6$)
3. Politropska promjena $3-1$ ($n' = 0{,}8$)

Zadani su podaci: $V_1 = 100$ l, $\vartheta_3 = 100$ °C, $p_3 = 2$ bar.
Izračunajte neto rad i termički stupanj djelovanja procesa!
Skica procesa u *p,v*- i *T,s*- dijagramu!
Napomena: *U p,V dijagramu kroz karakteristične točke ucrtati izoterme, a u T,s dijagramu izohore!*

2. ZADATAK

U vodom hlađeno mješalište ulaze dvije plinske smjese: prva je smjesa vodika i dušika jednakih molnih udjela, temperature 50 °C i tlaka 3 bar, a druga je smjesa vodika i dušika jednakih masenih udjela temperature 80 °C i tlaka 2,5 bar. Iz mješališta, kroz cijev promjera 120 mm brzinom 10 m/s, izlazi smjesa 40 °C i 2 bar u kojoj je molni udio vodika 85 %.
Izračunajte protočni volumen rashladne vode temperature 20 °C ako se ona smije zagrijati za 5 °C. Kolika je brzina mješavine, ako se ona nakon izlaska iz mješališta prolaskom kroz prigušni ventil ugrađen u izlazni cjevovod, priguši za 0,5 bar?

3. ZADATAK

Parni kotao proizvodi 5000 kg/h suhozasićene vodene pare tlaka 12 bar. Jedan dio pare odvodi se u ispušni parni stroj, a ostatak se prigušuje odmah po izlasku iz kotla i odvodi u grijalicu u kojoj potpuno kondenzira pri temperaturi 110 °C. Parni stroj daje snagu 450 kW. Kondenzat iz grijalice se vraća u kotao, a para ispuštena iz parnog stroja u okoliš nadomješta se svježom vodom iz okoliša temperature 15 °C i tlaka 1 bar.
Koliki je toplinski tok predavan u grijalici? Koliko toplinskog toka treba dovoditi u kotlu? Kolika je približna snaga pumpe za povrat kondenzata iz grijalice u kotao! Kolika je temperatura pare nakon prigušivanja?
Skica procesa u *T,s*- i *h,s*-dijagramu!

4. ZADATAK

U dugački čelični parovod promjera 125/133 mm, ulazi 1250 kg/h pregrijane vodene pare tlaka 6 bar i temperature 180 °C. Cijev je izvana obložena 10 mm debelom izolacijom ($\lambda_i = 0{,}3$ W/(m K)) i okružena je zrakom i velikim plohama jednake temperature -10 °C. Ukupni koeficijent prijelaza topline s izolacije na zrak iznosi 30 W/(m^2 K).
a) Provjerite dolazi li do kondenzacije pare na unutarnjoj površini cijevi! Ako kondenzacije nema, izračunajte sniženje temperature pare po metru cijevi, a ako kondenzacija nastupa izračunajte masu nastalog kondenzata. U tom slučaju zanemariti toplinski otpor prijelaza topline s pare na cijev!
b) Kolikoj je najvišoj temperaturi izložena izolacija?
Raspored temperatura po polumjeru skicirajte u ϑ,*r*-dijagramu!

5. ZADATAK

U istosmjernom se izmjenjivaču topline zagrijava protok hladnije vode ulazne temperature 20 °C na 50 °C s pomoću protoka toplije vode koja se hladi od 110 °C na 70 °C. Izmjenjivač je napravljen kao snop od 50 paralelno spojenih čeličnih cijevi promjera 25/30 mm i duljine 3 m, tako da hladnija voda struji kroz cijevi ($\alpha_u =$ 1300 W/(m^2 K)), a toplija duž cijevi s njihove vanjske strane ($\alpha_v = 900$ W/(m^2 K)).
Izračunajte izmjenjivani toplinski tok te masene protoke hladnije i toplije vode!
Raspored temperatura obiju struja skicirati u ϑ,·*A*-dijagramu!

6. ZADATAK *

Za kotao centralnog grijanja zadani su ovi podaci: gorivo je ulje za loženje masenog sastava $c = 0{,}84$; $h = 0{,}15$, $s = 0{,}01$, temperatura goriva i zraka na ulazu je 0 °C, a dimnih plinova na izlazu iz kotla u dimnjak je 250 °C. Izgaranje je potpuno, a toplinski tok predan vodi za centralno grijanje iznosi 300 kW.
Kolike su protočne mase zraka i goriva koje treba dovoditi u ložište, ako je faktor pretička 10 %?
Računati sa srednjim molarnim (specifičnim) toplinskim kapacitetima!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

1. $1\,kmol = 22{,}41\ m_n^3$

$x\,kmol = 0{,}5\ m_n^3$

$$x = \frac{0{,}5 \cdot 1}{22{,}41} = 0{,}02231\,kmol$$

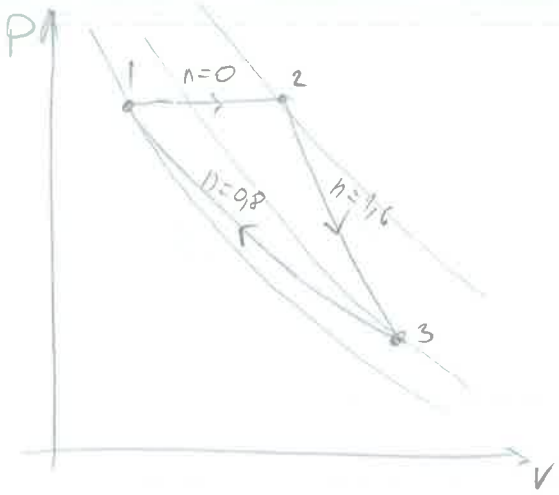
$N = 0{,}02231\,kmol$

$\chi = 1{,}35$

$V_1 = 100\,L = 0{,}1\,m^3$

$\vartheta_3 = 100°C$

$p_3 = 2\,bar$



$W_{neto} = ?$

$\eta = ?$

$pV = NRmT$

$$V_3 = \frac{N R_m T_3}{p_3} = 0{,}34607\,m^3$$

4/4

$$Q_{12} = N c_{up} (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

$$\frac{p_1}{p_3} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{n'} \rightarrow p_1 = p_3 \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{n'} = 5{,}4\ bar = p_2$$

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{N R_m} = 291{,}13\,K$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \left(\frac{p_2}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{n}} \rightarrow T_2 = 541{,}56\,K$$

$$\chi = \frac{c_{up}}{c_{up} - R_m} \rightarrow c_{up} = 32{,}07\ kJ/kmolK$$

$$c_{uv} = c_{up} - R_m$$

$$Q_{12} = N c_{up} (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

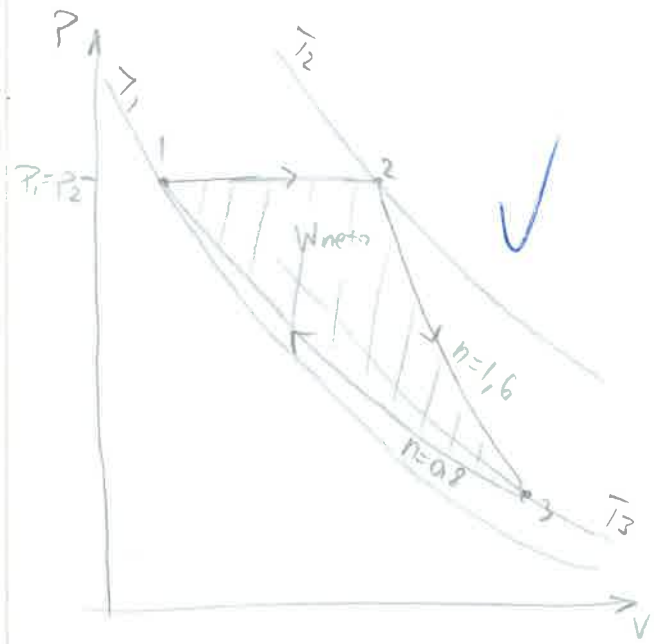
$Q_{12} = 179{,}18\,kJ$

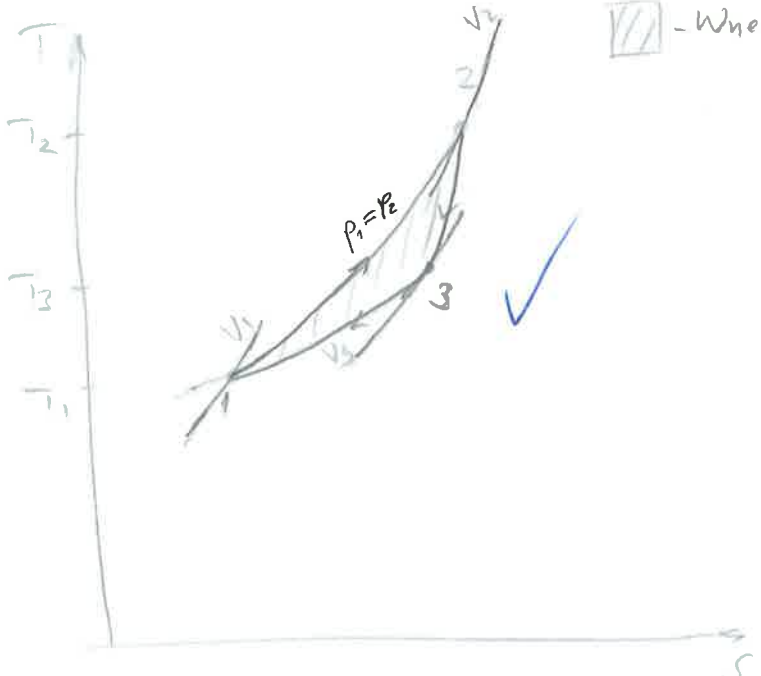
$$Q_{23} = N c_{uv} \cdot \frac{n - \chi}{n - 1} (T_3 - T_2) = -37{,}19\,kJ$$

$$Q_{31} = N c_{uv} \frac{n' - \chi}{n' - 1} (T_1 - T_3) = -119{,}54\,kJ$$

$$W_{neto} = \sum Q_i = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = 22{,}45\,kJ$$ ✓

$$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{dov}} = \frac{W_{neto}}{Q_{12}} = 0{,}125 \simeq 12{,}5\%$$ ✓





- W_{neto}

2. ① $y_{V_1} = y_{D_1} = 0{,}5$

$\vartheta_1 = 50\,°C \quad p_1 = 3\,bar$

$c_{up_1} = 28{,}866\ kJ/kmol\,K$ ✓

② $x_{V_2} = x_{D_2} = 0{,}5$

$\vartheta_2 = 80\,°C \quad p_2 = 2{,}5\,bar$

$c_{up_2} = 28{,}65\ kJ/kmol\,K$ ✓

$$y_{V_2} = \frac{\frac{x_{V_2}}{M_V}}{\frac{x_{V_2}}{M_V} + \frac{x_{D_2}}{M_D}} = 0{,}93288$$

$$y_{D_2} = 1 - y_{V_2} = 0{,}067116$$

$d = 120\,mm$

$w_M = 10\,m/s$

$\vartheta_M = 40\,°C \quad p_M = 2\,bar \quad y_{VM} = 0{,}85$

$\Phi = ?$

$$\dot{Q}_{VM} = A \cdot w = \frac{0{,}12^2\pi}{4} \cdot 10 = 0{,}1131\ m^3/s$$

$$\dot{Q}_V = \dot{n} \cdot R_m \cdot T$$

$$\dot{n}_M = \frac{p_M \cdot \dot{Q}_{VM}}{R_m \cdot T_M} = 5{,}6882 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$$ ✓

$$0{,}5 \cdot \dot{n}_1 + 0{,}93288\,\dot{n}_2 = 0{,}85\,\dot{n}_M$$

$$\dot{n}_1 + \dot{n}_2 = \dot{n}_M$$

$$0{,}5\,(\dot{n}_M - \dot{n}_2) + 0{,}93288 \cdot \dot{n}_2 = 0{,}85\,\dot{n}_M$$

$$\dot{n}_2 = 7{,}025 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$$ ✓

$$\dot{n}_1 = 1{,}6635 \cdot 10^{-2}\ kmol/s$$ ✓

$$\dot{\Phi}_{12} = T_M \cdot \sum \dot{n}_i c_{up_i} - \sum \dot{n}_i c_{u_i} T_i = -7{,}634\ kW$$ ~~(-8,153 kW)~~ (krivo uneseno u kalkulator)

$$|\dot{\Phi}_{12}| = \dot{\Phi}_{RW} = 7{,}634\ kW$$

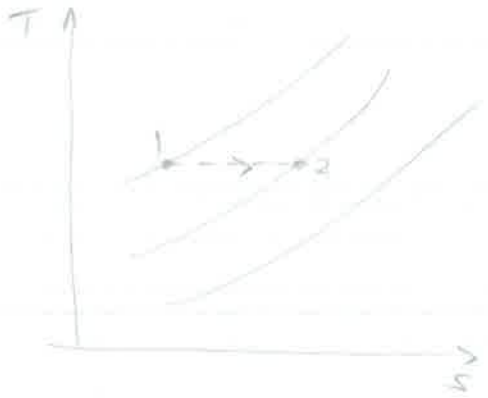
$\rho_{RW} = 998{,}2\ kg/m^3$

2/4

$$\dot{\Phi}_{RW} = \dot{Q}_{mRW} \cdot c_{pRW} \cdot \Delta\vartheta_{RW}$$

$$\dot{Q}_{mRW} = \frac{|\dot{\Phi}_{12}|}{c_{pRW} \cdot \Delta\vartheta_{RW}} = \frac{7{,}634 \cdot 10^3}{4{,}1851 \cdot 10^3 \cdot 5} = 0{,}36482\ kg/s$$

$$\dot{Q}_{mV_{RW}} = \frac{\dot{Q}_{mRW}}{\rho} = 3{,}655 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^3}{s} = 1{,}316\ m^3/h$$



$p_{M_2} = 1{,}5\,bar$

$\vartheta_M = 40\,°C$

$\dot{n} = \ldots$

$$\dot{Q}_V = \frac{\dot{n}_M \cdot R_m \cdot T_M}{p_M} = 0{,}1504\ m^3/s$$

$$w_M = \frac{\dot{Q}_V}{A} = 13{,}33\ m/s$$

3. $\dot{m} = 5000\ kg/h$

$p_1 = 12\ bar \quad \vartheta_1 = 187{,}96\,°C \quad h_1 = 2783{,}77\ kJ/kg$

$s_1 = 6{,}5217\ kJ/kg\,K$

$p_2' = p_{ok} = 1\ bar \quad \vartheta_2' = 99{,}61 \quad x_2' = ?$

$s_1 = s_2' = 6{,}5217\ kJ/kg\,K$

$x_2' = \frac{s_2 - s_2'}{s_{2''} - s_2'} = 0{,}86178 \quad h_2' = 2362{,}91\ kJ/kg$

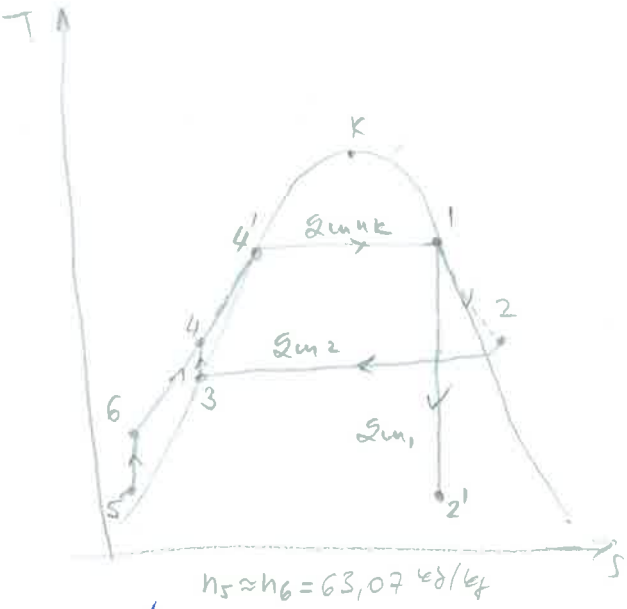
$\vartheta_3 = 110\,°C \quad p_3 = p_2 = 1{,}43376\ bar$

$h_3 \approx h_4 = 461{,}36\ kJ/kg$

$h_1 = h_2 = 2783{,}77\ kJ/kg \quad p_2 = 1{,}43376\ bar$

$s_2 = 7{,}45\ kJ/kg\,K \quad \vartheta_2 = 155\,°C$ ✓

OČITANO IZ H,S DIJAGRAMA



$h_5 \approx h_6 = 63{,}07\ kJ/kg$

$\dot{Q}_g = \dot{Q}_{23} = \dot{m}_2 (h_2 - h_3) = 0{,}3196\,(2783{,}77 - 461{,}36) = 742{,}24\ kW$ ✓

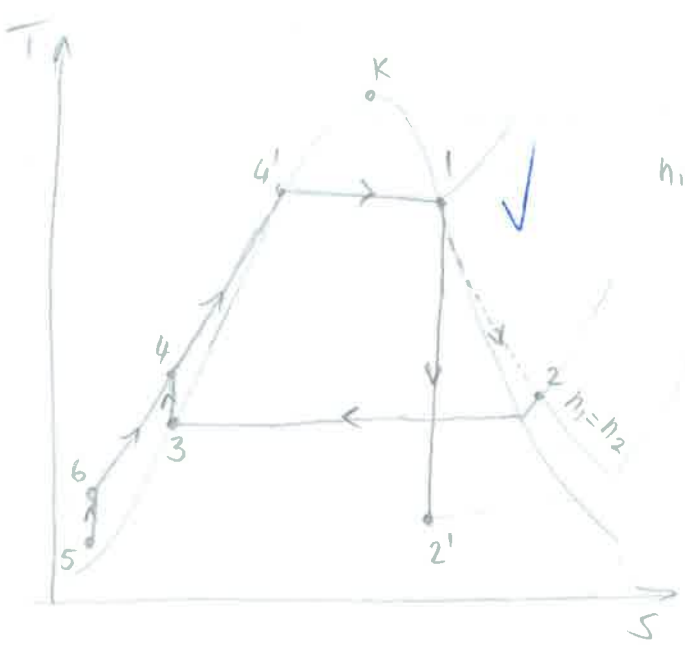
$P_{12'} = 450\ kW = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_{2'}) \rightarrow \dot{m}_1 = \frac{P_{12'}}{h_1 - h_{2'}} = 1{,}07\ kg/s$ ✓

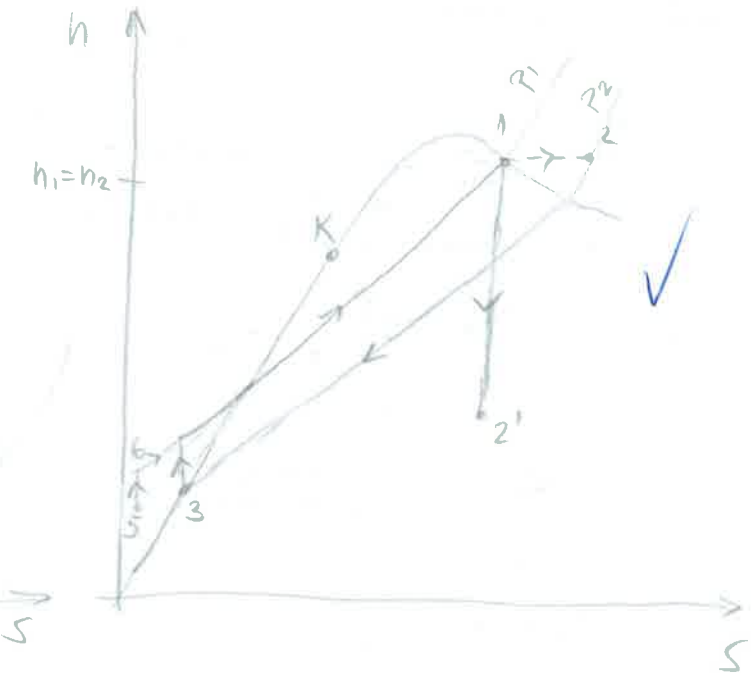
$\dot{m}_2 = 0{,}3196\ kg/s$ ✓

$\dot{Q}_k = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_6) + \dot{m}_2 \cdot (h_1 - h_3) = 3653{,}39\ kW$ ✓

$P_{34} = \dot{m}_2 \cdot v \cdot (p_3 - p_4) = 0{,}3196 \cdot 0{,}0010515 \cdot (1{,}43376 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5) = -355{,}1\ W$ ✓

4/4





4. $d_u/d_v = 125/133$ mm

$Q_{up} = 1250$ kg/h

$p_p = 6$ bar $\quad \vartheta_p = 180°C \quad \vartheta' = 158,83°C$

$\delta_i = 10$ mm $\quad R_i = 76,5$ mm

$\lambda_i = 0,3$ W/mK

$\vartheta_{ze} = \vartheta_{zd} = -10°C \quad (T = 263,15\,K)$

$\alpha_v = 30$ W/m²K

---

a) Pretp. ne dolazi.

za 180° i 6 bar

$\gamma = 3,0056$ kg/m³

$\lambda = 0,034086$ W/mK

$\mu = 15,182 \cdot 10^{-6}$ Pa s ✓

$Pr = 1,02514$

$Re = \dfrac{w \cdot d_u}{\nu}$

$\nu = \dfrac{\mu}{\gamma} = 5,051 \cdot 10^{-6}$

$Q_{vp} = \dfrac{Q_{up}}{\gamma_p} = 0,115525 \dfrac{m^3}{s}$

$w = \dfrac{Q_{vp}}{A} = 9,414$ m/s

$c_p =$

$Re = 232974$

$\alpha_u = \dfrac{\lambda}{d_u} \cdot \dfrac{0,0398 \cdot Pr \cdot Re^{0,75}}{1 + 1,74 \cdot Re^{-0,125}(Pr-1)} = 367,12$ W/m²K ~~(116,89)~~ (krivo uvršteno)

$$\frac{\vartheta_p - \vartheta_1}{\frac{1}{R_1 \alpha_u}} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_{ze}}{\frac{1}{\lambda_{i\check{c}}} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_{iz}} \ln\frac{R_3}{R_2} + \frac{1}{R_3 \alpha_v}}$$

1/4

$$\frac{180 - \vartheta_1}{\frac{1}{0,0625 \cdot 116,89}} = \frac{\vartheta_1 + 10}{\frac{1}{58} \ln\frac{133}{125} + \frac{1}{0,3} \ln\frac{133}{133} + \frac{1}{\frac{1}{0,0765 \cdot 30}}}$$

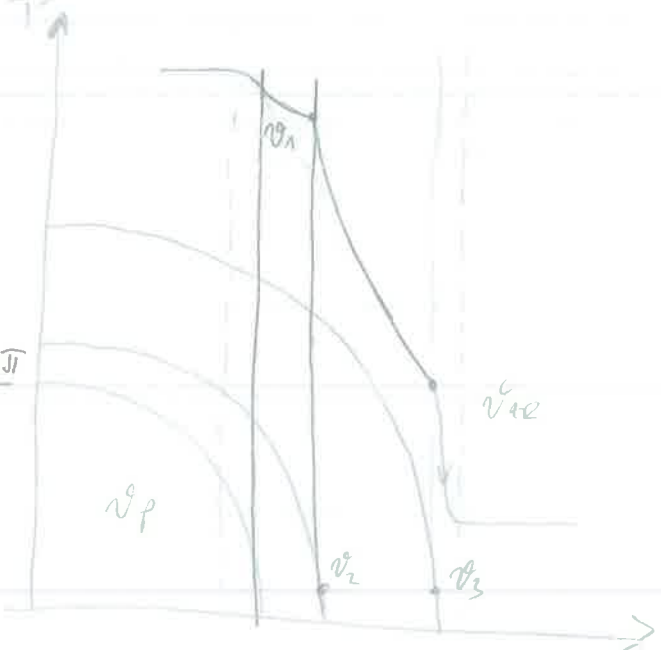
SOLVE

$\vartheta_1 = 155°C < \vartheta'$ DOLAZI DO KONDENZACIJA

$$\frac{\Phi}{L} = \frac{(\vartheta' - \vartheta_{ze}) \cdot 2\pi}{\frac{1}{\lambda_{i\check{c}}} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_{iz}} \ln\frac{R_3}{R_2} + \frac{1}{R_3 \alpha_v}} = 1173,75 \text{ W/m}$$

$$\Delta g_m = \frac{\frac{\Phi}{L}}{h_{pp} - h_{vk}} = \frac{1173,75}{(2806,04 - 670,5) \cdot 10^3}$$

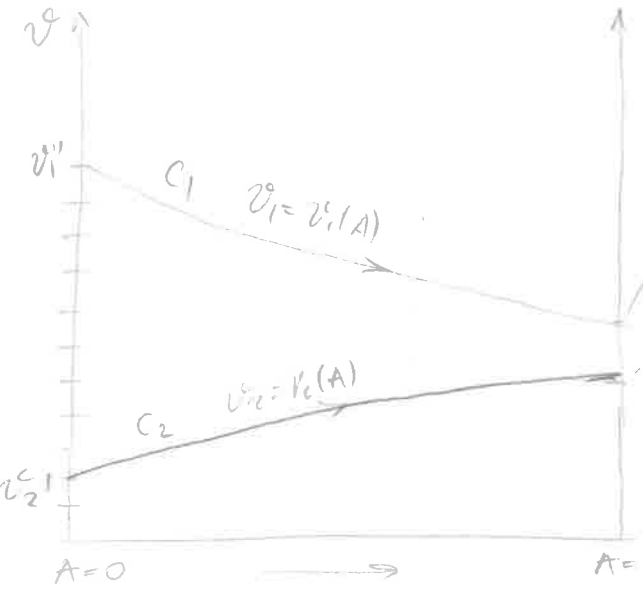
$\Delta g_m = 5,5 \cdot 10^{-4}$ kg/s



$$\frac{\frac{\Phi}{L}}{} = \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2) \cdot 2\pi}{\frac{1}{\lambda_{\check{c}}} \ln\frac{R_3}{R_2}} \qquad 1173,75 = \frac{(155 - \vartheta_2) \cdot 2\pi}{\frac{1}{58} \ln\frac{133}{125}}$$

$\vartheta_2 = 154,8$

5. hladnija je jača



NAPOMENA
* završetke krivulja ne crtati ravnima, ovisno moraju biti: pod nekim kutem, osim ako se ne radi o struji beskonačnog toplinskog kapaciteta

$\vartheta_2' = 20°C$
$\vartheta_2'' = 50°C$
$\vartheta_1' = 110°C$
$\vartheta_1'' = 70°C$
$n = 50$
$du/dv = 25/30\ mm$
$l = 3m$
$\alpha_u = 1300\ W/m^2K$
$\alpha_v = 900\ W/m^2K$

$\Phi = ?$

$q_{m1} = ?\quad q_{m2} = ?$

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{R_u}{\Pi} \ln\frac{R_v}{R_u} + \frac{R_u}{R_v \cdot \alpha_v}} = 576{,}55\ W/m^2K$$

$$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\frac{\Phi}{\Delta\vartheta_1}}{\frac{\Phi}{\Delta\vartheta_2}} = \frac{\Delta\vartheta_2}{\Delta\vartheta_1}$$

$$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = 0{,}4444$$

$$\Pi_3 = \frac{\vartheta_2'' - \vartheta_2'}{\vartheta_1' - \vartheta_1''} = 0{,}75$$

$$\Pi_2 = -\frac{\ln[1 - \Pi_1(1+\Pi_3)]}{1+\Pi_3}$$

$C_1 = q_{m1} \cdot c_{p1}$

$c_{p1} = 4{,}1205\ kJ/kgK$
$c_{p2} = 4{,}1792\ kJ/kgK$

$\Phi = C_1 \cdot \Delta\vartheta_1$
$\Phi = C_2 \cdot \Delta\vartheta_2$

4/4

C_1 je manji.

$\Pi_2 = 0{,}8575$

$$\Pi_2 = \frac{k_u A_u}{C_1}$$

$$C_1 = \frac{k_u A_u}{\Pi_2} = 7921{,}07\ W$$

$$q_{m1} = \frac{C_1}{c_{p1}} = 1{,}884\ kg/s \checkmark$$

$$\Phi = \frac{q_{m1} \cdot c_{p1}}{C_1} \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1') = -316{,}84\ kW \checkmark$$

$$q_{m2} = \frac{\Phi}{c_{p2} \cdot (\vartheta_2' - \vartheta_2'')} = 2{,}527\ kg/s \checkmark$$

6. $c = 0{,}84$
$h = 0{,}15$
$s = 0{,}01$
$\vartheta_a = \vartheta_z = 0°C$
$\vartheta_{ing} = 250°C$
$\dot{\Phi} = 300\,kW$
$\lambda = 1{,}1$

$\dot{q}_{mz} = ?$ $\dot{q}_{ma} = ?$

$\Delta h_d = 46139{,}4\ kJ/kg$

$n_{CO_2} = \frac{c}{12} = 0{,}107\ kmol/kg$

$n_{H_2O} = \frac{h}{2} = 0{,}075\ kmol/kg$

$n_{SO_2} = \frac{s}{32} = 0{,}0003125\ kmol/kg$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) O_{min} = 0{,}01078\ kmol/kg$

$n_{N_2} = 0{,}7975 \lambda = 0{,}79 \cdot 0{,}5647 = 0{,}44611\ kmol/kg$

$\left[c_{pCO_2}\right]_0^{25°C} = 40{,}907\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pH_2O}\right]_0^{250} = 34{,}3465\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pO_2}\right]_0^{250} = 30{,}1655\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pSO_2}\right]_0^{250} = 43{,}1035\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pN_2}\right]_0^{250} = 29{,}3055\ kJ/kmolK$

$O_{min} = \frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} = 0{,}11078\ kmol/kg$

$\sum n_i \left[c_{pi}\right]_0^{250} = 18{,}8513\ kJ/kmolK$ ✓

$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta h_d - |q_{odv}|}{\sum n_i \left[c_{pi}\right]_0^{\vartheta_{izg}}} \rightarrow q_{odv} = \Delta h_d - \vartheta_{izg} \cdot \sum n_i \left[c_{pi}\right]_0^{25,7d} = 41426{,}575\ \frac{kW}{kg}$

$\dot{\Phi}_{odv} = |q_{odv}| \cdot \dot{q}_{ma}$

$\dot{q}_{ma} = \frac{\dot{\Phi}_{odv}}{q_{odv}} = \frac{300}{41426{,}575} = 7{,}2417 \cdot 10^{-3}\ kg/s = 26{,}07\ kg/h$ ✓

3/4

* $\dot{q}_{nz} = \dot{q}_{ma} \cdot z_{stv} = 4{,}089 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$\dot{q}_{mz} = \dot{q}_{nz} \cdot M_z = 0{,}11843\ kg/s = 426{,}35\ kg/h$ ✓

JAKO VAŽNO

GORIVO NEPOZNATOG KEM. SASTAVA

$Z_{stv} = \frac{g_{n,ZR}}{g_{m,G}} \quad \frac{kmol/s}{kg/s} = \frac{kmol_{ZR}}{kg_G}$

GORIVO POZNATOG KEM. SASTAVA

$Z_{stv} = \frac{g_{n,ZR}}{g_{n,G}} \quad \frac{kmol/s}{kmol/s} = \frac{kmol_{ZR}}{kmol_G}$

19/24 (4)

- 2 krivа uvrštavanja u kalkulator
- 1 krivа formula

Pismeni dio ispita iz kolegija Uvod u termodinamiku – grupa **B**

21. lipanj 2016.

1. ZADATAK

U uspravnom neizoliranom cilindru promjera 300 mm s pomičnim stapom nepoznate mase nalazi se zrak okolišne temperature. Na stapu se nalazi uteg mase 60 kg. Da bi se odredila masa plina u cilindru, najprije se izmjeri početna udaljenost stapa od dna cilindra, koja iznosi 650 mm. Zatim se sa stapa brzo, ali ravnotežno digne uteg te se sustav prepusti samom sebi. Na kraju se izmjeri konačna udaljenost stapa od dna cilindra koja iznosi 700 mm. Ako je stanje okoliša 1 bar i 20 °C izračunajte masu stapa i masu zraka u cilindru te efektivni rad i izmijenjenu toplinu u procesu. Skica procesa u *p,v*- i *T,s*-dijagramu!

2. ZADATAK

Struja zraka tlaka 1 bar i okolišne temperature 25 °C, volumenskog protoka 800 m^3/h, tlači se izentropski na međutlak 3,5 bar i potom se hladi u izmjenjivaču topline do temperature 35 °C. Nakon toga zrak se politropski komprimira na konačni tlak 9 bar i hladi u izmjenjivaču topline do konačne temperature 25 °C. Eksponent politrope određen je time što je snaga potrebna za kompresiju dva puta veća od toplinskog toka odvođenog pri toj kompresiji.

Treba izračunati temperature istaknutih točaka u procesu, te snage i izmjenjivane toplinske tokove u svakoj fazi procesa! Ako je kompresor izveden kao klipni kompresor s jednim niskotlačnim i jednim visokotlačnim cilindrom, čija radilica se okreće sa 600 okretaja u minuti i hod obaju klipova jednak je 300 mm, koliki trebaju biti promjeri niskotlačnog i visokotlačnog cilindra?
Skica procesa u *p,v*- i *T,s*-dijagramu!

3. ZADATAK

Pregrijana vodena para masenog protoka 5 kg/s, tlaka 100 bar i temperature 450 °C izentropski ekspandira u visokotlačnoj turbini do tlaka 18 bar. Nakon izlaska iz turbine para se kroz dugačak, a nedovoljno izolirani cjevovod odvodi do potrošača – grijalica. Pri prolasku kroz cjevovod do grijalica zbog trenja se tlak pare smanji za 3 bar, a odvodi se toplinski tok od 1500 kW. U grijalicama potpuno kondenzira ~~suhozasićena para, a nastali se kondenzat još~~ pothladi za 40 °C.
Koliko se snage dobije ekspanzijom? Koliko (l/h) vele vode se odvaja prije ulaska u grijalice i koliko se toplinskog toka oslobađa u grijalicama? Koliko bi se toka oslobađalo u grijalicama da je cjevovod potpuno izoliran?
Skica procesa u *T,s*-i *h,s*-dijagramu!

4. ZADATAK

Dvije usporedne stijenke, toplija (lijeva) ploča ima emisijski faktor 0,5, a hladnija (desna) ploča 0,6. Između tih je ploča tanak zastor temperature 80 °C, čije obje površine imaju emisijski faktor 0,8. Kroz (lijevi) međuprostor između toplije stijenke i zastora struji zrak temperature 30 °C, a između zastora i desne stijenke struji zrak temperature 40 °C. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline na svim površinama s kojima je zrak u dodiru iznosi 15 $W/(m^2\ K)$. Hladnijoj (desnoj) ploči se s vanjske strane odvodi 350 W/m^2 toplinskog toka.
Kolike su temperature stijenki i koliko toplinskog toka odvodi zrak sa sobom iz sustava?

5. ZADATAK

U izmjenjivaču topline hladi se 12000 kg/h vode ulazne temperature 30 °C prolaskom kroz snop cijevi, na kojima s vanjske strane isparava amonijak pri tlaku 3,55 bar. Snop ima 20 čeljčnih cijevi promjera 25/30 mm i duljinu 3 metra. Koeficijent prijelaza topline na strani amonijaka je 7000 $W/(m^2K)$
Treba izračunati protočnu masu isparenog amonijaka, te protočnu masu i izlaznu temperaturu vode!
Kolika je srednja gustoća toplinskog toka (svedena na vanjsku površinu cijevi) i s njom povezana srednja temperatura vode?
Raspored temperatura duž površine izmjenjivača skicirati u ϑ,A-dijagramu i označiti srednju temperaturu vode!

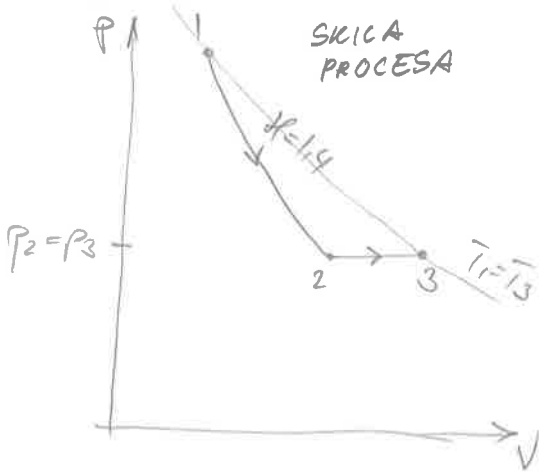
6. ZADATAK

Plin butan (C_4H_{10}) volumenskog protoka 4 m^3/h ulazi u ložište s temperaturom 0 °C, a zrak s temperaturom 100 °C. Izgaranje je potpuno, a cijeli proces teče na tlaku 1 bar.
Izračunajte količinski protok (kmol/h) vlažnih dimnih plinova, ako ventilator dobavlja u ložište 250 m^3/h zraka! Koliko se ukupno (kW) toplinskog toka dobije pri hlađenju dimnih plinova do 150 °C? Koliki je volumenski protok dimnih plinova pri temperaturi 150 °C?
Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

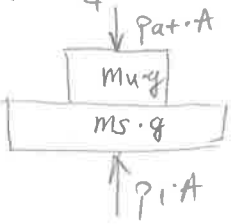
1. $d_c = 300\,mm$
$m_{ut} = 60\,kg$ $\quad \mu_{zr} = 28,96\ kg/kmol$
$h_1 = 650\,mm$
$h_3 = 700\,mm$
$p_{ok} = 1\,bar \quad \vartheta_{ok} = 20°C$

$m_s = ?\ \ m_{zr} = ?\ \ W_{ef} = ?\ \ Q_{23} = ?$



① $\vartheta_1 = \vartheta_{ok} = 20°C$

$V_1 = \frac{d_c^2 \pi}{4} \cdot h_1 = 0,04595\,m^3$



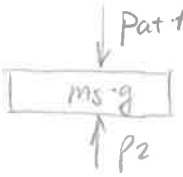
$\Sigma F = 0$

$p_1 \cdot A = m_{ut} \cdot g + m_s \cdot g + p_{at} \cdot A \quad / : A$

$p_1 = \frac{m_{ut} \cdot g}{A} + \frac{m_s \cdot g}{A} + p_{at} \quad (1)$

$A = \frac{0,3^2 \pi}{4} = \frac{9}{400}\pi\,m^2$

②



$\Sigma F = 0$

$p_2 \cdot A = m_s \cdot g + p_{at} \cdot A \quad / : A \rightarrow p_2 = \frac{m_s \cdot g}{A} + p_{at} \quad (2)$

③ $p_3 = p_2 = \frac{m_s \cdot g}{A} + p_{at}$ $\quad V_3 = \frac{0,3^2 \pi}{4} \cdot h_3 = 0,04948\,m^3$

$p_3 = p_2$!

IZOTERMA 1-3

$p_1 = \frac{V_3}{V_1} \cdot p_3 = \frac{0,04948}{0,04595} \cdot p_3 \rightarrow p_1 = 1,0768\,p_3 \quad (3)$

→ UBACIMO (1) i (2) u (3)

$\frac{m_{ut} \cdot g}{A} + \frac{m_s \cdot g}{A} + p_{at} = 1,0768\left(\frac{m_s \cdot g}{A} + p_{at}\right)$

$8326,99 + 138,78\,m_s + 10^5 = 149,44\,m_s + 1,0768 \cdot 10^5 \rightarrow m_s = \underline{60,7\,kg}$

$p_1 = \frac{60 \cdot 9,81}{\frac{9\pi}{400}} + \frac{60,7 \cdot 9,81}{\frac{9\pi}{400}} + 10^5 = 1,1675\,bar$

$p_3 = \frac{p_1}{1,0768} = 1,0842\,bar$

$p_2 = p_3 = 1,0842\,bar$

$p_1 \cdot V_1 = N_{zr} R_m T_1 \rightarrow N_{zr} = \frac{p_1 \cdot V_1}{R_m T_1} = \frac{1,1675 \cdot 10^5 \cdot 0,04595}{8314 \cdot 293,15} = 2,2011 \cdot 10^{-3}\,kmol$

$m_{zr} = M_z \cdot N_{zr} = 28,96 \cdot 2,2011 \cdot 10^{-3} = \underline{0,0637\,kg}$

$W_{ef} = W_{12} + W_{23} + W_{ok}$

$W_{12} = \frac{mR\bar{T}_1}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]$ $\quad R = 287{,}1\ J/kgK$ (TT str. 1)

$W_{12} = \frac{0{,}0637 \cdot 287{,}1 \cdot 293{,}15}{1{,}4 - 1}\left[1 - \left(\frac{1{,}0842}{1{,}1675}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}}\right] = 280{,}49\ J$

$W_{23} = m \cdot R(\bar{T}_3 - \bar{T}_2)$ $\quad \bar{T}_2 = \bar{T}_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} = 293{,}15 \cdot \left(\frac{1{,}0842}{1{,}1675}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} = 287\ K$

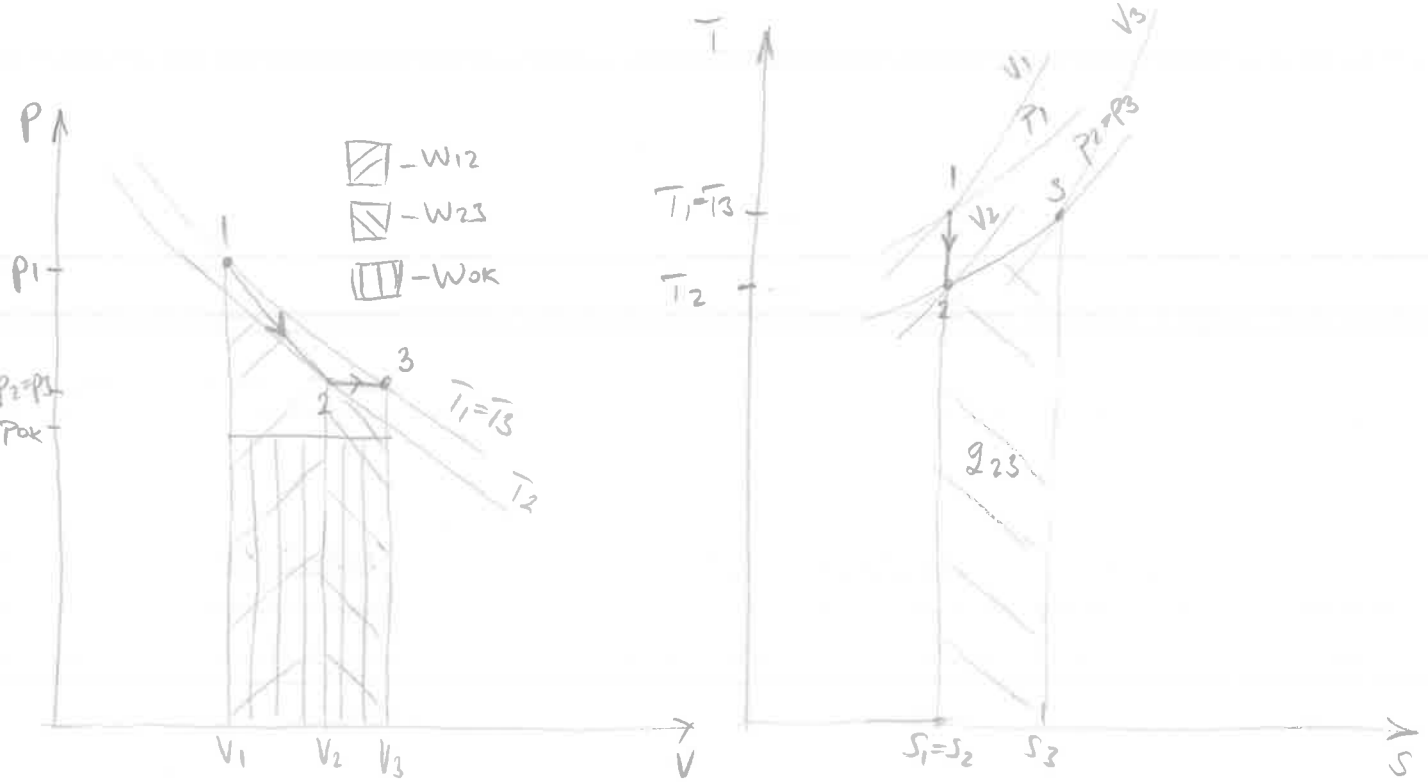
$W_{23} = 0{,}0637 \cdot 287{,}1(293{,}15 - 287) = 112{,}4\ J$

$W_{ok} = p_{ok} \cdot (V_1 - V_3) = -353\ J$

$c_{wpr} = 29{,}073\ kJ/kmolK$

$W_{ef} = 280{,}49 + 112{,}4 - 353 = 39{,}9\ J$

$Q_{23} = N_{fr} \cdot c_{wpr}(\bar{v}_3 - \bar{v}_2) = 2{,}2011 \cdot 10^{-3} \cdot 29{,}073 \cdot (293{,}15 - 287) = 0{,}394\ kJ$



(2) 21. lipanj 2016.

$\varkappa = 1,4$

stanje (1) $\xrightarrow[\text{kompresija}]{\text{izentropska}}$ stanje (2) $\xrightarrow{\text{izobarno hlađenje}}$ stanje (3)

$p_1 = 1$ bar

$T_1 = 25°C \triangleq 298,15 K$

$q_{v,1} = \frac{800}{3600} m^3/s$

$q_m = \frac{q_{v,1} \cdot p_1}{R \cdot T_1}$

$q_m = 0,25961$ kg/s

$p_2 = 3,5$ bar

$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$

$T_2 = 426,46 K$

$q_{v,2} = q_{v,1} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1/\varkappa}$

$q_{v,2} = 0,09082 m^3/s$

$p_3 = 3,5$ bar

$T_3 = 35°C \triangleq 308,15 K$

$q_{v,3} = 0,06562 m^3/s$

$\xrightarrow[\text{kompresija}]{\text{politropa}}$ stanje (4) $\xrightarrow{\text{izobarno hlađenje}}$ stanje (5)

$p_4 = 9$ bar

$T_4 = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$T_4 = 352,67 K$

$q_{v,4} = 0,02921 m^3/s$

$T_5 = 25°C \triangleq 298,15 K$

$p_5 = 9$ bar

$q_{v,5} = 0,0247 m^3/s$

$P_{34} = 2 \cdot \phi_{34}$

$P_{34} = 2 \cdot (q_m c_p (T_4 - T_3) + P_{34})$

$-P_{34} = 2 q_m c_p (T_4 - T_3)$

$-q_m \cdot \frac{nR}{n-1} (T_4 - T_3) = 2 q_m c_p (T_4 - T_3)$

$q_m \cdot \frac{nR}{n-1} \cancel{(T_4 - T_3)} = 2 q_m c_p \cancel{(T_4 - T_3)}$

$\frac{n}{n-1} = \frac{2 c_p}{R}$

$\frac{n}{n-1} = \frac{2 \cdot 1005}{287,1}$

$n = 1,1667$

$P_{12} = q_m \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) = 0,25961 \cdot 1,005 (298,15 - 426,$

$\phi_{12} = \phi$ $\quad P_{12} = -33,48$ kW

$P_{23} = \phi$

$\phi_{23} = q_m c_p (T_3 - T_2) = 0,25961 \cdot 1,005 (308,15 - 426,46)$

$\phi_{23} = -30,87$ kW

$\phi_{34} = q_m c_p (T_4 - T_3) + \overbrace{q_m \frac{nR}{n-1} (T_3 - T_4)}^{P_{34}}$

$\phi_{34} = 0,25961 \cdot 1,005 (352,67 - 308,15)$

$+ 0,25961 \cdot \frac{1,1667 \cdot 0,2871}{1,1667 - 1} (308,15 - 352,$

$\phi_{34} = -11,61$ kW

$P_{34} = -23,22$ kW

vrijedi $P_{34} = 2 \cdot \phi_{34}$ ✓

$P_{45} = \phi$

$\phi_{45} = q_m c_p (T_5 - T_4) = 0,25961 \cdot 1,005 (298,15 - 352,67$

$\phi_{45} = -14,225$ kW

niskotlačni

1-2

$p_m = 3,5$ bar

$q_{v,max1-2} = q_{v,1} = 0,22 m^3/s$

$0,22 \cdot \frac{60}{600} = V_{c,NT}$

$V_{c,NT} = 0,022 m^3$

$d_{NT} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{c,NT}}{\pi L}}$

$d_{NT} = 0,307 m$

$d_{NT} = 307 mm \approx 310 mm$

visokotlačni

3-4

$p = 9$ bar

$q_{v,max3-4} = q_{v,3} = 0,06562 m^3/s$

$q_{v,max3-4} = V_{c,VT} \cdot n$

$0,06562 \cdot \frac{60}{600} = V_{c,VT}$

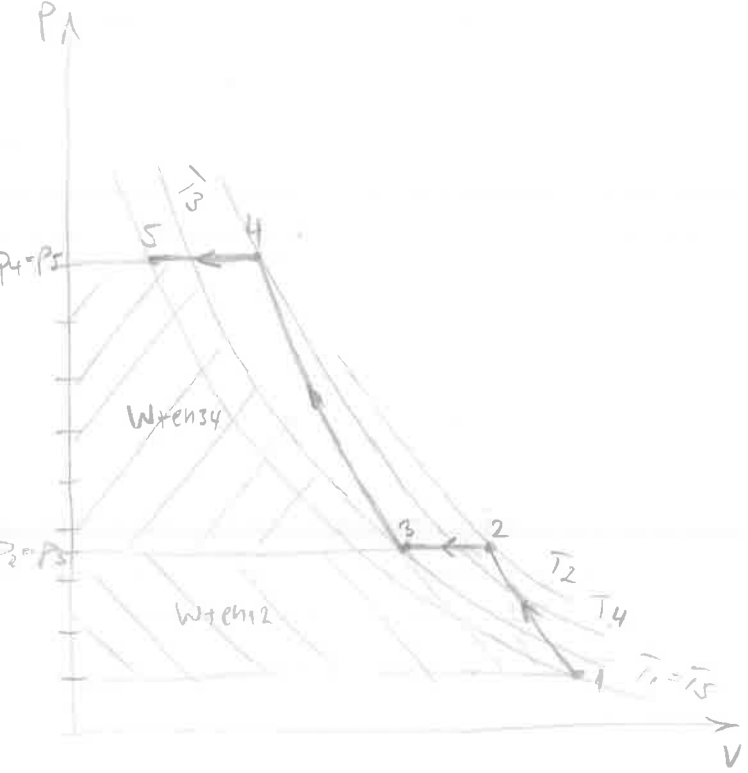
$V_{c,VT} = 6,562 \times 10^{-3} m^3 = 6,56 l$

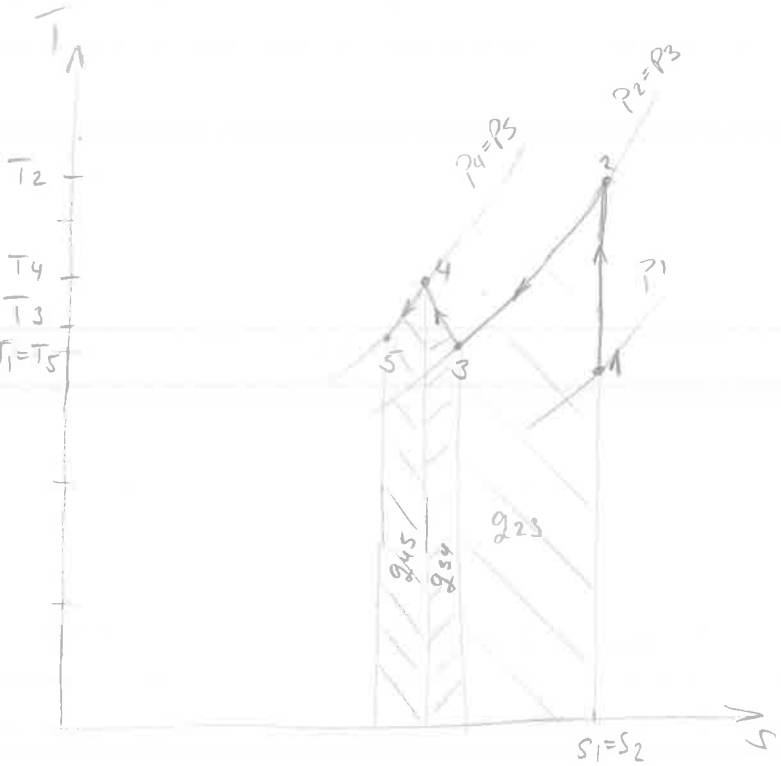
$V_{c,VT} = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot L$

$d_{VT} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_{c,VT}}{\pi L}}$

$d_{VT} = 0,1669 m$

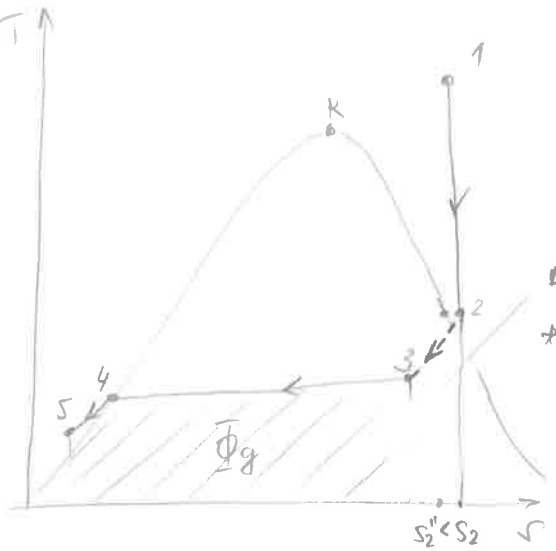
$d_{VT} \approx 167 mm \approx 170 mm$


P
V
$P_4=P_5$
$P_2=P_3$
T_3
T_2
T_4
$T_1=T_5$
5
4
3
2
1
W+en34
W+en12


T
S
T_2
T_4
T_3
$T_1=T_5$
$P_4=P_5$
$P_2=P_3$
P_1
2
4
5
3
1
q_{45}
q_{34}
q_{23}
$S_1=S_2$

3. $q_m = 5\ kg/s$
$p_1 = 100\ bar$
$\vartheta_1 = 450°C$
$p_2 = 18\ bar$
$p_3 = 15\ bar$
$\Phi_{23} = 1300\ kW$
$\vartheta_5 = \vartheta_4 - 40°C$

$P_{12} = ?\quad q_{V_{vrele\ vode}} = ?\quad \Phi_g = ?\quad \Phi_g' = ?$



BEZ ŠRAFURE
* specifična vrsta procesa kada se uz istodobno prigušivanje odvodi i toplinski tok od pare

① $p_1 = 100 bar$
$\vartheta_1 = 450°C$
$h_1 = 3242,28\ kJ/kg$ } TT str. 18
$s_1 = 6,4217\ kJ/kgK$ }

② $p_2 = 18 bar$
$s_2 = s_1 = 6,4217\ kJ/kgK$
$s_2'' = 6,3776\ kJ/kgK < s_2 \rightarrow$ točka 2 nije ušla u mokro područje

$h_2 = 2820\ kJ/kgK$ } očitano iz h-s dijagrama za $p_2 = 18 bar$ i $s_2 = 6,4217\ kJ/kgK$
$\vartheta_2 = 215°C$ }

③ $p_3 = 15 bar \rightarrow \vartheta_3 = 198,3°C$ (TT str 6)
$\Phi_{23} = q_m(h_2 - h_3) \rightarrow h_3 = 2560\ kJ/kg$
$x_3 = \frac{h_3 - h_3'}{h_3'' - h_3'} = \frac{2560 - 844,72}{2791,01 - 844,72} = 0,88$

④ $p_4 = p_3 = 15 bar \quad \vartheta_4 = \vartheta_3 = 198,3°C$
$h_4 = h_4' = 844,72\ kJ/kg$
$s_4 = s_4' = 2,3147\ kJ/kgK$

⑤ $\vartheta_5 = \vartheta_4 - 40°C = 158,3°C$
$p_5 = p_4 = p_3 = 15 bar$
$h_5 = 668,74\ kJ/kg \rightarrow$ interpolirano iz TT str 13 između temp. 150°C i 160°C

$P_{12} = q_m(h_1 - h_2) = 5 \cdot (3242,28 - 2820)$
$P_{12} = 2111,4\ kW$

STANJE U TOČKI 3
$x_3 = 0,88 \rightarrow$ maseni udio suhozasićene pare
$1 - x_3 = 0,12 \rightarrow$ maseni udio vrele kapljevine
$q_{m_{vrele\ vode}} = (1 - x_3) \cdot q_m = 0,12 \cdot 5 = 0,6\ kg/s$

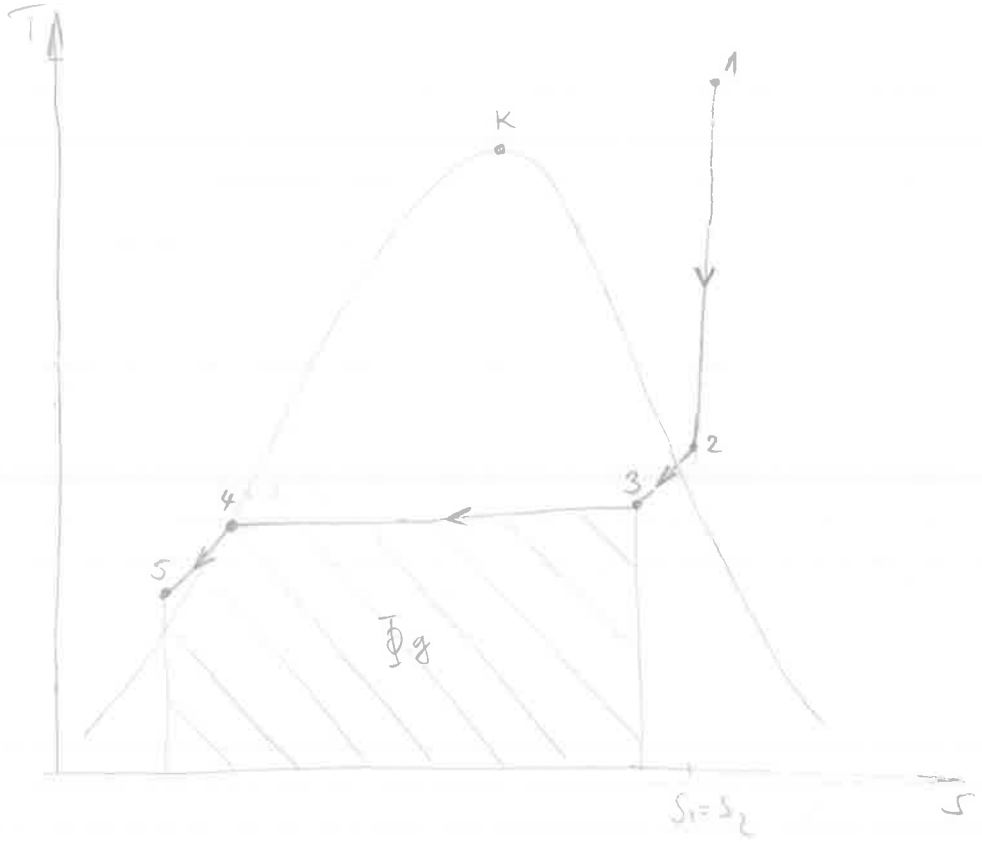
$q_{V_{vrele\ vode}} = q_{m_{vrele\ vode}} \cdot v_3' = 0,6 \cdot 0,0011538$

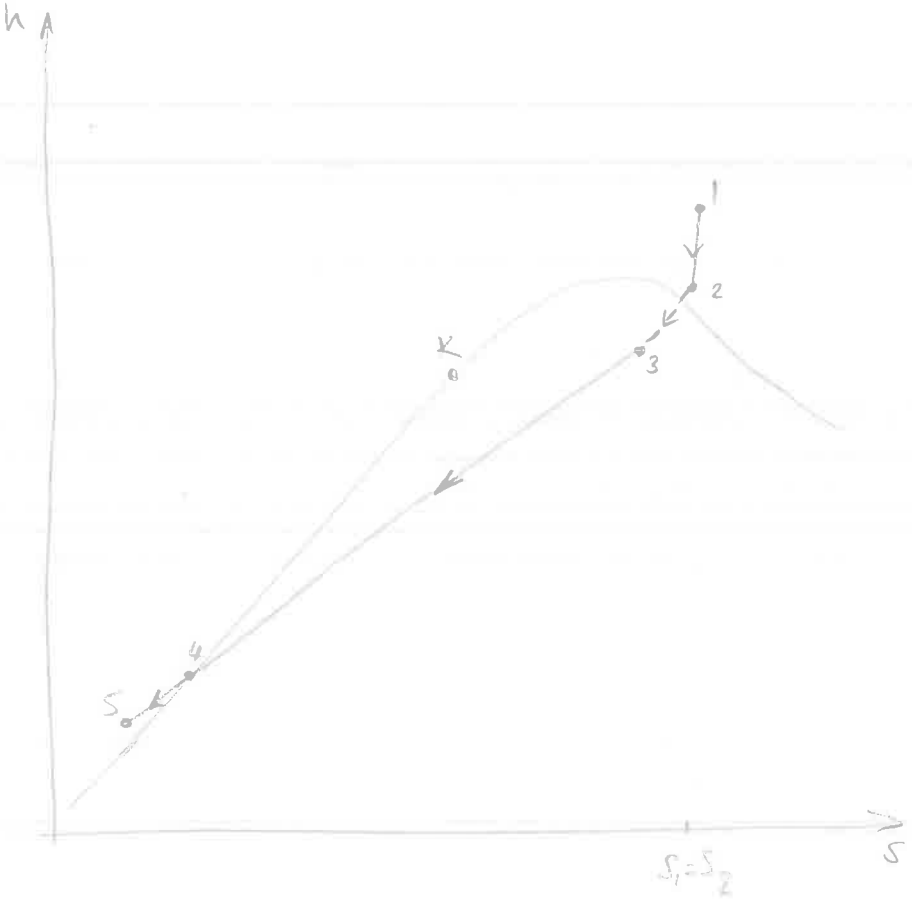
$q_{V_{VRELE\ VODE}} = 6,923 \cdot 10^{-4}\ m^3/s$

$\Phi_g = q_{m_{zap}}(h_3 - h_5) = 0,88 \cdot 5 \cdot (2560 - 668,74)$
$\Phi_g = 8321,54\ kW$

KAD BI CIJEVOVOD BIO IZOLIRAN ONDA BI VRIJEDILO $h_2 = h_3$ I PARA NE BI UŠLA U MOKRO PODRUČJE

$\Phi_g' = q_m \cdot (h_2 - h_5) = 5 \cdot (2820 - 668,74)$
$\Phi_g' = 10756,3\ kW$


T
K
1
2
3
4
5
$T_0 g$
$S_1 = S_2$
S


h
1
2
K
3
4
5
$S_1 = S_2$
S

4. $\varepsilon_1 = 0{,}5$

$\varepsilon_2 = 0{,}6$

$\vartheta_z = 80°C$ $(T_z = 353{,}15K)$

$\varepsilon' = \varepsilon'' = 0{,}8$

$\vartheta_{zr_1} = 30°C$

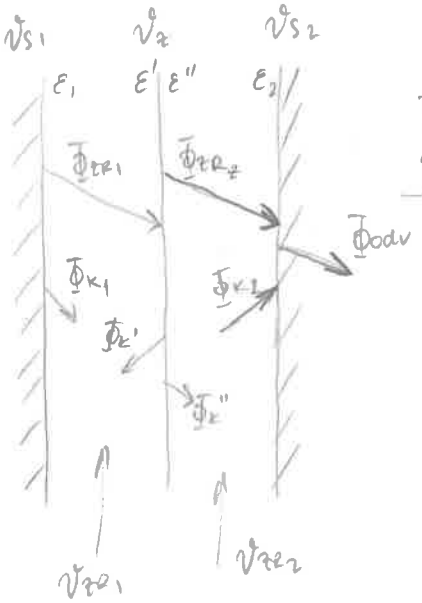
$\vartheta_{zr_2} = 40°C$

$\alpha_{k,zr} = 15\ W/m^2K$

$q_{odv} = 350\ W/m^2$

$\vartheta_{s_1} = ?\quad \vartheta_{s_2} = ?\quad q_{odv\,zr} = ?$

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ W/m^2K^4$



pretpostavka: $\vartheta_{s_1} > \vartheta_z > \vartheta_{s_2}$

BILANCA ZA STIJENKU 2 → dovedena i odvedena toplina moraju biti jednake!

$$\Phi_{zr_2} + \Phi_{k_2} = \Phi_{odv}$$

$$\frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon''} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \cdot \left(T_z^4 - T_{s_2}^4\right) + \alpha_k \cdot \left(T_{zr_2} - T_{s_2}\right) = q_{odv}$$

$$\frac{5{,}67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0{,}8} + \frac{1}{0{,}6} - 1} \cdot \left(353{,}15^4 - T_{s_2}^4\right) + 15 \cdot \left(313{,}15 - T_{s_2}\right) = 350$$

$$\hookrightarrow T_{s_2} = 303{,}7\ K$$

BILANCA ZA ZASTOR:

$$\Phi_{zr_1} = \Phi_{zr_2} + \Phi_k' + \Phi_k'' \quad / \cdot A$$

$$q_{zr_1} = q_{zr_2} + q_k' + q_k''$$

$$\frac{5{,}67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0{,}5} + \frac{1}{0{,}8} - 1} \cdot \left(T_{s_1}^4 - 353{,}15^4\right) = \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0{,}8} + \frac{1}{0{,}6} - 1} \cdot \left(353{,}15^4 - 303{,}7^4\right) + 15 \cdot (353{,}15 - 303{,}7) + 15 \cdot (353{,}15 - 313{,}15)$$

$$\hookrightarrow T_{s_1} = 527{,}45\ K$$

$$q_{zr} = q_{k_1} + q_k' + q_k'' - q_{k_2}$$

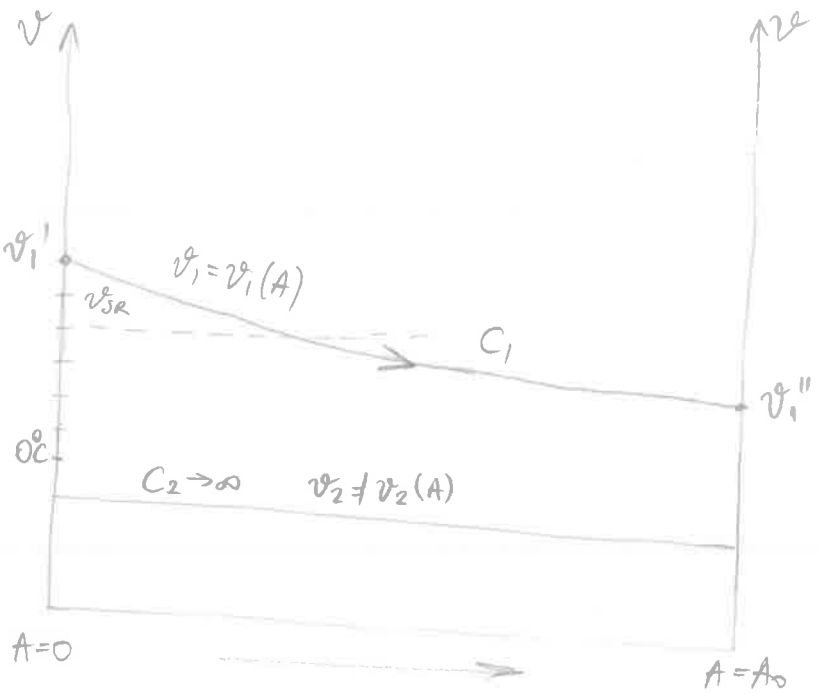
(gubitak predaje topline stijenci 2)

$$q_{zr} = 15 \cdot (527{,}45 - 303{,}15) + 15 \cdot (353{,}15 - 303{,}15) + 15 \cdot (353{,}15 - 313{,}15) - 15 \cdot (313{,}15 - 303{,}7)$$

$$q_{zr} = 4564{,}5\ W/m^2$$

5. $\dot{m}_1 = 12\,000$ kg/h
$\vartheta_1' = 30$ °C
$p_a = 3{,}55$ bar
$n = 20$
$d_u/d_v = 25/30$ mm
$L = 3$ m
$\alpha_v = 7000$ W/m²K
$\lambda_č = 58$ W/mK

$\dot{m}_2 = ?$ $\vartheta_1'' = ?$
$\dot{q}_{sr} = ?$ $\vartheta_{1SR} = ?$



$C \to \infty$
$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = \phi$

pri tlaku 3,55 bar temp. amonijaka iznosi $\vartheta(p) = -5$ °C (TT str. 47)

$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu}$ $\quad \dot{Q}_v = A_u \cdot w = \frac{\dot{m}}{\rho} \rightarrow w = \frac{\dot{m}}{\rho} \cdot \frac{1}{A_u} = \frac{\frac{12\,000}{3600}}{995{,}62} \cdot \frac{1}{\frac{0{,}025^2 \pi}{4} \cdot 20} = 0{,}341$ m/s

↖ pazi da uvrstiš broj cijevi

za vodu na 30°C TT str.

$\rho' = 995{,}162$ kg/m³
$c_{p1} = c_p' = 4{,}1803$ kJ/kgK
$\lambda = 0{,}61546$ W/mK
$\mu = 797{,}35 \cdot 10^{-6}$ Pa s
$Pr = 5{,}4157$
$\nu = \frac{\mu}{\rho'} = 8{,}0086 \cdot 10^{-7}$ m/s²

$Re = \frac{0{,}341 \cdot 0{,}025}{8{,}0086 \cdot 10^{-7}} = 10645$

$Nu = \frac{0{,}0398 \cdot Pr \cdot Re^{0{,}75}}{1 + 1{,}74 \cdot Re^{-0{,}125} \cdot (Pr - 1)} = 66{,}2$

$\alpha_u = \frac{\lambda}{d_u} \cdot Nu = 1629{,}7$ W/m²K

$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_u} + \frac{R_v}{\lambda_{ič}} \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_v}} = 1079{,}5$ W/m²K

$\Pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1} = \frac{k_v \cdot d_v \pi \cdot L \cdot n}{\dot{m}_1 \cdot c_{p1}} = 0{,}4381$

$\Pi_1 = 1 - e^{-\Pi_2} = 0{,}35474$

$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta(p)} = \frac{30 - \vartheta_1''}{30 - (-5)} = 0{,}35474 \rightarrow \vartheta_1'' = 17{,}58$ °C

$\Phi = \underbrace{\dot{m}_1 \cdot c_{p1}}_{C_1} \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1') = \frac{12000}{3600} \cdot 4{,}1803 \,(30 - 17{,}58) = 173{,}064$ kW

$\Phi = \dot{m}_2 \cdot (h_2'' - h_2') \rightarrow \dot{m}_2 = \frac{173{,}064}{1456{,}7 - 176{,}94} = 0{,}1352$ kg/s

↘ TT str 21. za $p_a = 3{,}55$ bar

5. $q_{SR} = \frac{\Phi}{A_V} = \frac{173,064}{0,03\pi \cdot 20 \cdot 3} = 30,604 \ kW/m^2$

$\vartheta_{iSR} = \vartheta(p) + \frac{\Phi}{k_V \cdot A_V} = -5 + \frac{173,064 \cdot 10^3}{1079,5 \cdot 0,03\pi \cdot 20 \cdot 3} = \underline{23,35 \ °C}$

↳ ima formula u zbirci negdje

6. $q_{V_G} = 4 \ m^3/h$
$\vartheta_G = 0°C$
$\vartheta_Z = 100°C$
$p = 1 \ bar$

$q_{nvap} = ?$ $q_{V_Z} = 250 \ m^3/h$
$\Phi_{12} = ?$ $\vartheta_{ph} = 150°C$
q_{vap} (pri 150°C) = ?

$1 \ kmol \ C_4H_{10} + 6,5 \ kmol \ O_2 \rightarrow 4 \ kmol \ CO_2 + 5 \ kmol \ H_2O$

$O_{min} = 6,5 \ kmol/kmol$
$n_{CO_2} = 4 \ kmol/kmol$
$n_{H_2O} = 5 \ kmol/kmol$
$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min}$
$n_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0,21}$

$n_{O_2} = 3,1075 \ kmol/kmol$
$n_{N_2} = 36,135 \ kmol/kmol$

$q_{nG} = \frac{p \cdot q_{V_G}}{R_m \cdot T_G} = 4,8927 \cdot 10^{-5} \ kmol/s$

$q_{nZ} = \frac{p \cdot q_{V_Z}}{R_m \cdot T_Z} = \frac{10^5 \cdot \frac{250}{3600}}{8314 \cdot 373,15} = 2,2384 \cdot 10^{-3} \ kmol/s$

$q_{nZ} = q_{nG} \cdot z_{stv}$ → $z_{stv} = 45,75 \ kmol/kmol$

$z_{stv} = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0,21}$ → $\lambda = \frac{0,21}{6,5} \cdot 45,75 = 1,478$

$n_{vap} = n_{O_2} + n_{N_2} + n_{CO_2} + n_{H_2O} = 48,24 \ kmol_{vap}/kmol_G$

$q_{nvap} = n_{vap} \cdot q_{nG} = 48,24 \cdot 4,8927 \cdot 10^{-5} = \underline{2,36 \cdot 10^{-3} \ kmol/s}$

$[c_{up_{O_2}}]_0^{150} = 29,7345 \ kJ/kmolK$
$[c_{up_{N_2}}]_0^{150} = 29,186 \ kJ/kmolK$
$[c_{up_{CO_2}}]_0^{150} = 39,086 \ kJ/kmolK$
$[c_{up_{H_2O}}]_0^{150} = 33,93 \ kJ/kmolK$

$\sum n_i [c_{up_i}]_0^{150} = n_{O_2} \cdot [c_{up_{O_2}}]_0^{150} + n_{N_2} \cdot [c_{up_{N_2}}]_0^{150} + n_{CO_2} \cdot [c_{up_{CO_2}}]_0^{150} + n_{H_2O} [c_{up_{H_2O}}]$

$\sum n_i [c_{up_i}]_0^{150} = 1473,03 \ kJ/kmolK$

$\Phi_{12} = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 + \dot{E}_{KEH_2} - \dot{E}_{KEH_1}$ ($\dot{E}_{KEH_2} \approx 0$)

$= q_{nG} \cdot \sum n_i [c_{up_i}]_0^{150} \cdot \vartheta_{vap} - q_{nG} \cdot z_{stv} \cdot [c_{up_t}]_0^{100} \cdot \vartheta_Z - q_{nG} \cdot \Delta H_{mol}$

$[c_{up_t}]_0^{100} = 29,153 \ kJ/kmolK$

TT str 60.
$\Delta H_{mol} = 2658,5 \ \frac{MJ}{kmol}$

$\Phi_{12} = \underline{-136,53 \ kW}$

$q_{v,vap} = \frac{q_{nvap} \cdot R_m \cdot T_{ap}}{p} = \frac{2,36 \cdot 10^{-3} \cdot 8314 \cdot 423,15}{10^5} = \underline{0,083 \ m^3/s}$

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku

Zagreb, 6. veljače 2017.

1. ZADATAK

Idealni plin ekspandira u cilindru s pomičnim stapom od 0,05 m^3 do 0,35 m^3. Proces ravnotežne ekspanzije u cilindru je opisan jednadžbom:

$$p = 12{,}3 - 32{,}7 \cdot V,$$

pri čemu je p izražen u bar, a V u m^3.
Potrebno je odrediti rad ekspanzije i efektivni rad izražen u kJ ako je stanje okoliša normalno.
Skica procesa u p,v-dijagramu!

2. ZADATAK

Izentropska kompresija zraka u kompresoru odvija se u dva stupnja, od početnog stanja 100 kPa i 300 K na konačni tlak 1000 kPa. Nakon kompresije u prvom stupnju zrak se hladi u međuhladnjaku do početne temperature, a zatim se u drugom stupnju komprimira do konačnog tlaka 1000 kPa. Usisni volumenski protok u prvi stupanj kompresora iznosi 15000 m^3/h.
Potrebno je odrediti:

a) Tlak nakon kompresije u prvom stupnju i ukupnu snagu procesa ako su snage u prvom i drugom stupnju kompresije jednake
b) Maseni protok vode potrebne za hlađenje zraka u međuhladnjaku ako se vode zagrijava za 15 °C
c) Snagu kompresora za slučaj jednostupanjske kompresije od istog početnog do istog konačnog tlaka te uštedu na snazi.

Procese pod a) i c) prikazati u zajedničkom p,v- i T,s dijagramu!

3. ZADATAK

Vodena para, kao radni medij, izvodi sljedeći desnokretni ciklus. Suhozasićena para tlaka 40 bar izentropski ekspandira u cilindru do tlaka 2 bar, potom joj se izobarno odvodi toplina te se izohorno vraća u početno stanje. U procesu sudjeluje 0,5 kg pare, a proces se obavlja 300 puta u minuti.
Potrebno je odrediti:

a) termički stupanj djelovanja procesa
b) snagu stroja u kW

Proces prikazati u p,v; T,s i h,s-dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

4. ZADATAK

Cijev promjera 80/88 mm izvedena je od nehrđajućeg čelika ($\lambda_č$ = 15 W/(m·K)) i kroz nju struji ledena voda (mješavina vode i leda) temperature 0 °C. Cijev je s vanjske strane izolirana 20 mm debelim slojem izolacije (λ_i = 0,04 W/(m·K)) i smještena je u velikoj prostoriji u kojoj je temperatura zraka 22 °C, a temperatura velikih zidova prostorije 18 °C. Emisijski faktor vanjske površine stijenke je 1,0. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline na vanjskoj površini cijevi iznosi 10 W/(m^2·K). Zanemarujući toplinski otpor konvekcije na unutarnjoj površini cijevi potrebno je odrediti:

a) pad temperature kroz izolaciju cijevi
b) masu otopljenog leda u cijevi kroz 24 sata ako specifična toplina taljenja leda iznosi 335 kJ/kg.

Nacrtati raspored temperatura u ϑ,r-dijagramu!

5. ZADATAK

U izmjenjivaču topline, koji je izveden kao snop od 30 čeličnih cijevi promjera 28/34 mm i duljine 5 m, zagrijava se 18000 kg/h vode (koja struji kroz cijevi) od 30 °C na 80 °C. Oko cijevi struji u istom smjeru voda ulazne temperature 125 °C. Koeficijent prolaza topline sveden na unutarnju površinu cijevi iznosi 1400 W/(m^2·K). Potrebno je odrediti:

a) Izmijenjeni toplinski tok, maseni protok i izlaznu temperaturu druge vodene struje
b) Derivaciju temperature slabije struje po površini na sredini površine izmjenjivača

Raspored temperatura jedne i druge struje skicirati u ϑ,A-dijagramu!

6. ZADATAK

Kapljevito gorivo masenog sastava c = 0,77 i h = 0,23 i temperature 0 °C potpuno izgara u zraku temperature 250 °C. Ložište je toplinski izolirano.
Koliki treba biti faktor pretička zraka pri izgaranju, ako nastali dimni plinovi moraju na izlazu iz ložišta imati temperaturu 1200 °C.
Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima.

① 6.2.2017

$V_1 = 0{,}05\,m^3$

$V_2 = 0{,}35\,m^3$

$\boxed{p = 12{,}3 - 32{,}7 \cdot V}$

$W_{12} = ?$

$W_{ef} = ?$

$p_{ok} = 1{,}01325\ bar$

$p_1 = 12{,}3 - 32{,}7 \cdot 0{,}05$

$p_1 = 10{,}665\ bar$

$p_2 = 12{,}3 - 32{,}7 \cdot 0{,}35$

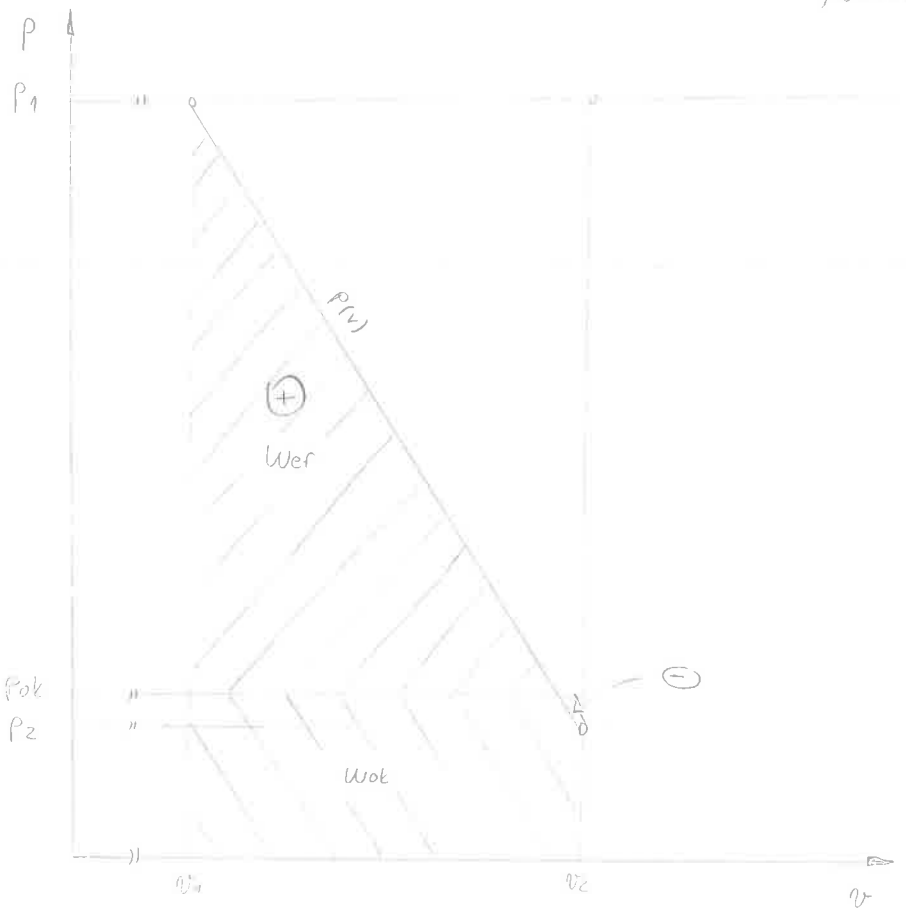
$p_2 = 0{,}855\ bar$

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p(v)\,dV = \int_{0{,}05}^{0{,}35} (12{,}3 - 32{,}7\,V) \times 10^5\,dV = 172{,}8\ kJ$$

$$W_{12ok} = p_{ok}(V_1 - V_2) = 1{,}01325 \cdot 10^5 (0{,}05 - 0{,}35) = -30{,}398\ kJ$$

$$W_{ef} = 172{,}8 - 30{,}398 = 142{,}402\ kJ$$

izdražba $p(v)$ je pravac



(2) 6.2.2017

stanje (1)
$p_1 = 100\ kPa$
$p_1 = 1\ bar$
$T_1 = 300K$

stanje (2)
$p_2 = p_3$
$p_2 = 3,1623\ bar$
$T_2 = 416.85K$

stanje (3)
$T_3 = T_1 = 300K$
$p_3 = p_2 = 3,16236bar$

stanje (4)
$p_4 = 10\ bar$

$q_{v,1} = \frac{15000}{3600}\ m^3/s$

$q_m = \frac{q_{v,1} \cdot p_1}{R \cdot T_1}$

$q_m = \frac{15000}{3600} \cdot \frac{10^5}{287,1 \cdot 300}$

$q_m = 4,83765\ kg/s$

1-2

$P_{12} = q_m \cdot \varkappa \cdot \frac{R \cdot T_1}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]$

$P_{34} = q_m \cdot \varkappa \cdot \frac{R \cdot T_3}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]$

$P_{12} = P_{34}$

$q_m \cdot \varkappa \cdot \frac{R \cdot T_1}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right] = q_m \cdot \varkappa \cdot \frac{R \cdot T_3}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]$

$p_2 = p_3$

$1 - \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} = 1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$

$\boxed{p_3 = 3.1623\ bar}$

$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$

$T_2 = 300\left(\frac{3.1623}{1}\right)^{\frac{0,4}{1,4}}$

$T_2 = 416.85\ k \triangleq 143.7\ K$

$\phi_{23} = q_m \cdot c_p (T_3 - T_2)$

$\phi_{23} = 4,83765 \cdot 1,005(300 - 416,86)$

$\boxed{\phi_{23} = -568,15\ kW}$

$T_4 = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$

$T_4 = 300 \cdot \left(\frac{10}{3,1623}\right)^{\frac{0,4}{1,4}}$

$T_4 = 416.85\ k$

$\phi_{rw} = -\phi_{23} = q_{m,rw} \cdot c_w (\Delta T)$

$q_{m,rw} = \frac{568,15}{4,187 \cdot 15} = 9,046\ kg/s$

$P_{uk} = \varkappa \cdot \frac{q_{m,ZR} \cdot T_1 \cdot R_{ZR}}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right] + \varkappa \cdot \frac{q_{m,ZR} \cdot T_3 \cdot R_{ZR}}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]$

$P_{uk} = 1,4 \cdot \frac{4,83765 \cdot 300 \cdot 287,1}{1,4 - 1}\left[1 - \left(\frac{3,1623}{1}\right)^{\frac{0,4}{1,4}}\right] + 1,4 \cdot \frac{4,83765 \cdot 300 \cdot 287,1}{1,4 - 1}\left[1 - \left(\frac{10}{3,1623}\right)^{\frac{0,4}{1,4}}\right]$

$T_1 = 300K$
$p_4 = 10\ bar$

$\boxed{P_{uk} = -1136\ kW}$

$T_4 = T_1 \cdot \left(\frac{p_4}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$

$T_4 = 300 \cdot \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{0,4}{1,4}}$

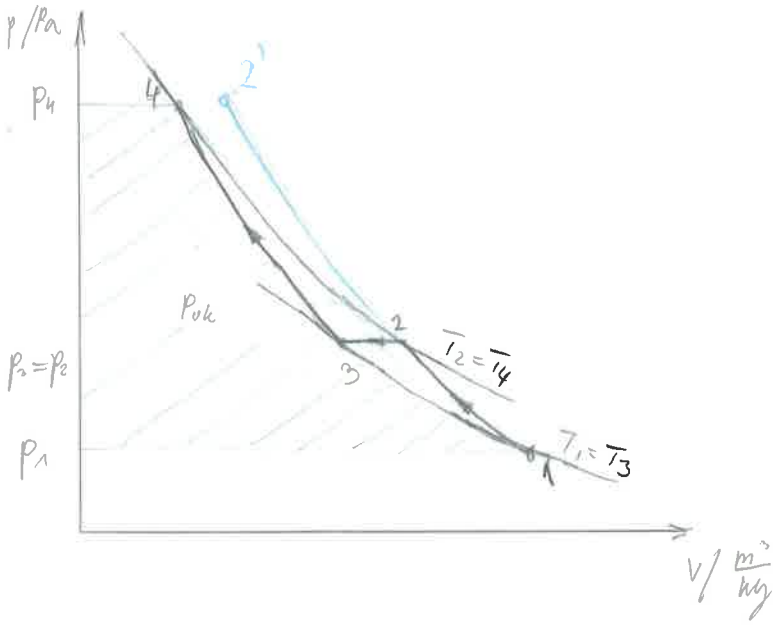
$T_4 = 579,21\ K$

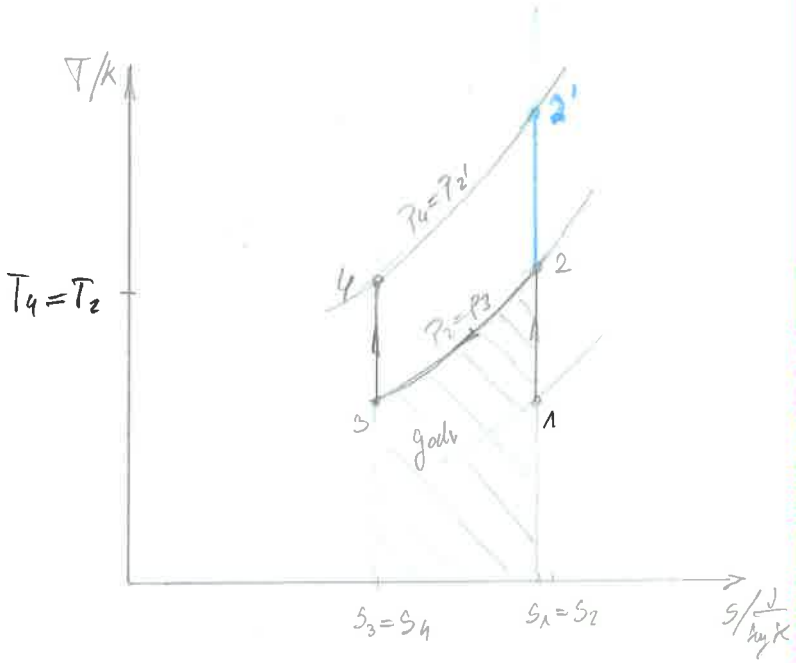
c) $P_{KOMPRESORA} = \varkappa \cdot \frac{q_{m,ZR} \cdot T_1 \cdot R_{ZR}}{\varkappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_4}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}\right]$

$P_{KOMPRESORA} = 1,4 \cdot \frac{4,83765 \cdot 300 \cdot 287,1}{1,4 - 1}\left[1 - \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{0,4}{1,4}}\right]$

$\boxed{P_{KOMPRESORA} = -1357,3\ kW}$ (JEDNOSTUPANJSKI)

$P_{ušteda} = P_{JEDNOSTUPANJSKI} - P_{dvostupanjski} = -221,3\ kW$


p/Pa
p_4
$p_2=p_2$
p_1
4
2'
2
3
p_{uk}
$T_2=T_4$
$T_1=T_3$
V/ m³/kg


T/K
$T_4=T_2$
2'
$T_4=T_2'$
4
2
$p_3=p_3$
3
1
$s_3=s_4$
$s_1=s_2$
s/ J/kgK

(3)

$m_{PARE} = 0,5\ kg$

$n = 300\ min^{-1}$

1 —IZENTROPSKA EKSPANZIJA→ 2 —IZOBARNO ODVOĐENJE TOPLINE→ 3 —IZOHORNO ODVOĐENJE TOPLINE→ 1

1 suhozasićena para

$p_1 = 40\ bar$

$h_1 = h_1'' = 2800,9\ kJ/kg$

$s_1 = s_1'' = 6,0697\ kJ/kgK$

$v_1 = 0,049777\ m^3/kg$

2

$p_2 = 2\ bar$

$s_2 = s_1 = 6,0697\ kJ/kgK$

$x_2 = \frac{s_2 - s_2'}{s_2'' - s_2'}$

$x_2 = \frac{6,0697 - 1,5301}{7,1269 - 1,5301}$

$x_2 = 0,8111\ kg_{sat}/kg$

$h_2 = h_2' + x_2 \cdot r_2$

$h_2 = 504,68 + 0,8111 \cdot 2201,65$

$h_2 = 2290,37\ kJ/kg$

$v_2 = v_2' + x_2 \cdot (v_2'' - v_2')$

$v_2 = 0,7185\ m^3/kg$

3

$p_3 = 2\ bar$

$v_3 = v_1 = 0,049777\ \frac{m^3}{kg}$

$x_3 = \frac{v_3 - v_3'}{v_3'' - v_3'}$

$x_3 = \frac{0,049777 - 0,0010605}{0,8857 - 0,0010605}$

$x_3 = 0,0551$

$h_3 = h_3' + x_3 \cdot r_3$

$h_3 = 504,68 + 0,0551 \cdot 2201,65$

$h_3 = 626\ kJ/kg$

$s_3 = s_3' + x_3 \cdot (s_3'' - s_3')$

$s_3 = 1,5301 + 0,0551 \cdot 7,1269$

$s_3 = 1,8385\ kJ/kgK$

$W_{1-2} = m_{PARE} \cdot (u_1 - u_2)$

$W_{1-2} = m_{PARE} \cdot (h_1 - p_1 \cdot v_1 - h_2 + p_2 \cdot v_2)$

$W_{1-2} = 0,5 \cdot (2800,9 - 40 \cdot 10^2 \cdot 0,049777 - 2290,37 + 2 \cdot 10^2 \cdot 0,7185)$

$\boxed{W_{1-2} = 227,56\ kJ}$

$\boxed{Q_{1-2} = \emptyset}$

$W_{2-3} = m_{PARE} \cdot p \cdot (v_3 - v_2)$

$W_{2-3} = 0,5 \cdot 2 \cdot 10^2 \cdot (0,049777 - 0,7185)$

$\boxed{W_{2-3} = -66,872\ kJ}$

$Q_{2-3} = m_{PARE} \cdot (h_3 - h_2) = 0,5 \cdot (626 - 2290,37)$

$\boxed{Q_{2-3} = -832,19\ kJ}$

$\boxed{W_{3-1} = \emptyset}$

$Q_{3-1} = m \cdot (u_1 - u_3) = m_{PARE} [h_1 - h_3 - v \cdot (p_1 - p_3)]$

$Q_{3-1} = 0,5 \cdot (2800,9 - 626 - 0,049777 \cdot (40 - 2) \cdot 10^2]$

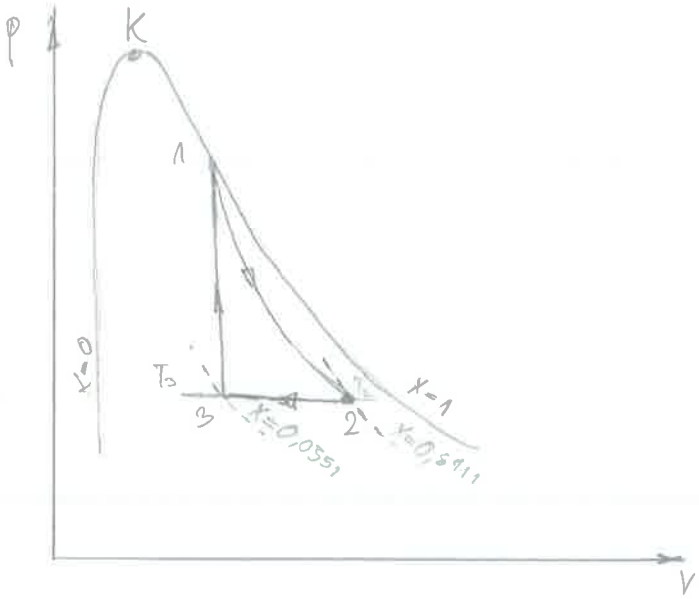
$\boxed{Q_{3-1} = 992,87\ kJ}$

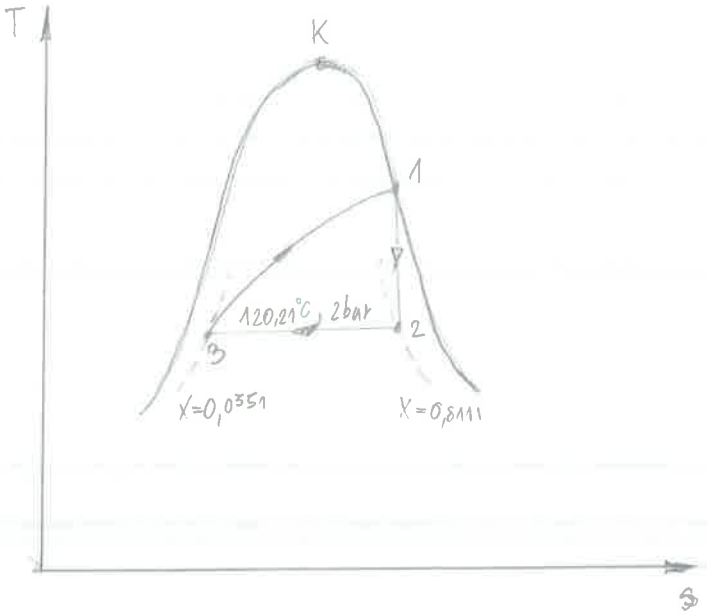
$W_{uk} = W_{1-2} + W_{2-3} = 160,69\ kJ$

$Q_{dov} = Q_{3-1} = 992,87\ kJ$

$\boxed{\eta = \frac{W_{uk}}{Q_{dov}} = \frac{160,69}{992,87} = 0,1618 = 16,18\%}$

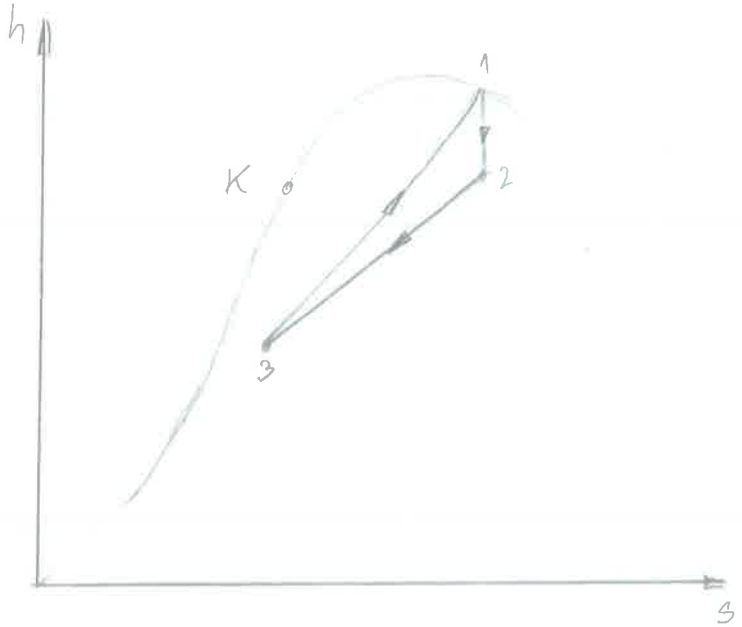
$\boxed{P_{stroja} = n \cdot W_{uk} = \frac{300}{60} \cdot 160,69 = 803,5\ kW}$





NAPOMENA ZA T,s DIJAGRAM
- crtanje izohore u mokrom području
(ako je $v > v_k \Rightarrow$ konveksno (ispupčeno)
ako je $v < v_k \Rightarrow$ konkavno (udubljeno))

$v_k = 0{,}003106\ m^3/kg$



(4)

$d_v/d_u = 80/88$ mm

$\lambda_i = 15$ W/mK

$\lambda_i = 0,04$ W/mK

ledena voda

$\vartheta_M = 0°C$

$\delta_i = 20$ mm

$\vartheta_{ZR} = 22°C$

$\vartheta_{ZID} = 18°C$

$\varepsilon_1 = 1$

$\alpha_v = 10 W/m^2K$

$d_1 = 0,06$ m

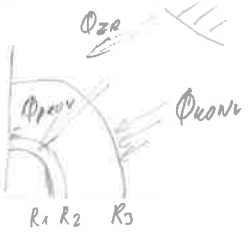
$d_2 = 0,088$ m

$d_3 = 0,128$ m

$R_1 = 0,04$ m

$R_2 = 0,044$ m

$R_3 = 0,064$ m



- pretpostavljamo da je temperatura zida veća od temperature vanjske stijenke

$\frac{\Phi_{uk}}{L} = konst.$

- postavljamo toplinsku bilancu za vanjsku stijenku
- dovedeni toplinski tok stijenci mora biti jednak odvedenom toplinskom toku od stijenke

$$\frac{\Phi_{ZR}}{L} + \frac{\Phi_{konv}}{L} = \frac{\Phi_{prov}}{L}$$

JEDINA NEPOZNANICA

$$d_3 \cdot \pi \cdot \alpha_v \cdot (T_{ZR} - \boxed{T_{s3}}) + d_3 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot \varepsilon_1 \cdot [T_{ZID}^4 - \boxed{T_{s3}^4}] = \frac{2\pi \cdot (\boxed{T_{s3}} - T_M)}{\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{R_3}{R_2}}$$

TOPLINSKI OTPOR

CASIO - SOLVER

$\boxed{T_{s3} = 291,73 K}$

$\boxed{T_{s3} > T_{ZID}}$

- nema veze što smo pretpostavili suprotno, dobili bi istu temperaturu da smo radili po pravoj pretpostavci

$$\frac{\Phi_{uk}}{L} = \frac{\Phi_{konv}}{L} - \frac{\Phi_{ZR}}{L} = d_3 \cdot \pi \cdot \alpha_v \cdot (\vartheta_{ZR} - \vartheta_{s3}) - d_3 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot \varepsilon_1 [T_{s3}^4 - T_{ZID}^4]$$

$$\frac{\Phi_{uk}}{L} = 0,128 \cdot \pi \cdot 10 \cdot (22 - 18,58) - 0,128 \cdot \pi \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot [291,73^4 - 291,15^4$$

$\boxed{\frac{\Phi_{uk}}{L} = 12,4432 W/m}$

$$\frac{\Phi_{uk}}{L} = \frac{2\pi \cdot (\vartheta_{s3} - \vartheta_{s2})}{\frac{1}{\lambda_{iz}} \ln \frac{R_3}{R_2}} \Rightarrow \vartheta_{s2} = \vartheta_{s3} - \frac{\frac{\Phi_{uk}}{L} \cdot \frac{1}{\lambda_{iz}} \ln \frac{R_3}{R_2}}{2\pi}$$

$\vartheta_{s2} = 0,02895°C$

$\boxed{\vartheta_{s2} = 0,02895°C}$

DRUGA STRANA ⟹

$\Delta \vartheta_{izol} = \vartheta_{s3} - \vartheta_{s2} = 18,58 - 0,02895$

$\boxed{\Delta \vartheta_{izol} = 18,55°C}$

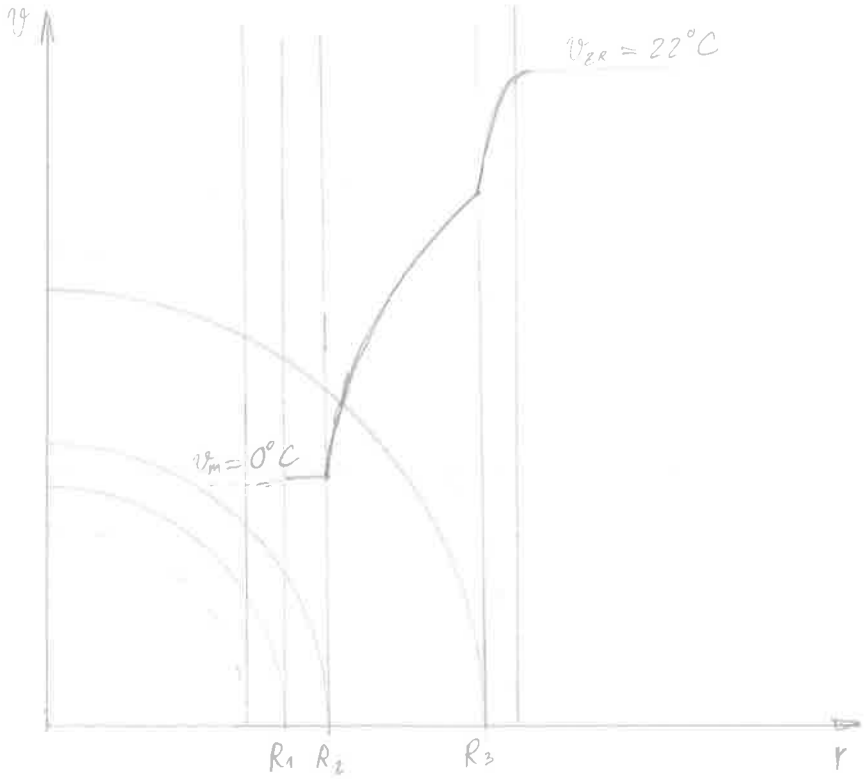
$q_{LEDA} = 335 \cdot 10^3$ J/kg

b) $\frac{P_{vh}}{L} \cdot t = m_{LED} \cdot q_{LED}$

$m_{LED} = \frac{\frac{P_{vh}}{L} \cdot t}{q_{LED}}$ → masa leda će biti izražena po metru cijevi

$m_{LED} = \frac{12,46 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{335 \cdot 10^3}$

$m_{LED} = 3,21$ kg/m



(5) 6. vježbe 2017 — istosmjerni izmjenjivač

izmjenjivač

$n = 30$ $\quad k_u = 1400\ W/m^2K$

$d_u/d_v = 28/34\ mm$

$L = 5m$

$q_{ma} = q_{m,1} = \frac{18000}{3600}\ kg/s$

Struja 1 veća promjena temperature „slabija struja"

$\vartheta_1' = 30°C$

$\vartheta_1'' = 80°C$

Promjena ove struje je 50°C, što nam upućuje da je to struja 1 jer kod bi oduzeli $\Delta\vartheta = 50$ od 125 $\Rightarrow 125-50 = 75°C$ ispada da bi temp izlaza bila ispod struje 1 što je nemoguće...

π_3 iz $\pi_1 = \frac{1-e^{-(1+\pi_3)\pi_2}}{1+\pi_3}$

$\pi_3 = 0,293$

$C_2 = \frac{|\Phi|}{\vartheta_2' - \vartheta_2''}$

$71\,450,5 = \frac{1046\,750}{125 - \vartheta_2''}$

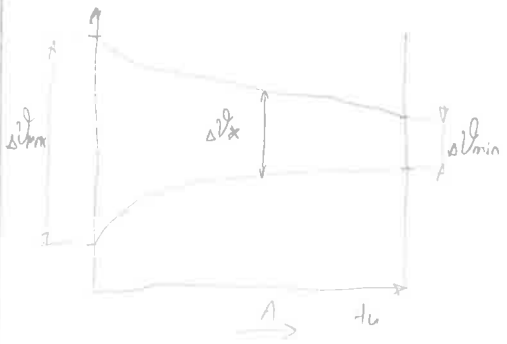
$\vartheta_2'' = 110,35°C$

$C_2 = q_{m,2} \cdot c_w$

$71\,450,5 = q_{m,2} \cdot 4187$

$q_{m,2} = 17,06\ kg/s$

Skica



q_{ma} $\quad q_{m,b}$

$C_1 = q_{m,1} \cdot c_w$

$C_1 = \frac{18000}{3600} \cdot 4187 = 20\,935$

$A_u = d_u \pi \cdot L \cdot n$

$A_u = 0,028\pi \cdot 5 \cdot 30$

$A_u = 13,195\ m^2$

$\pi_2 = \frac{k_u A_u}{C_1}$

$\pi_2 = \frac{1400 \cdot 13,195}{20\,935}$

(2) $\pi_2 = 0,8824$

$\pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = \frac{30-80}{30-125}$

(1) $\pi_1 = 0,5263$

$\pi_3 = \frac{C_1}{C_2}$ $\quad C_2 = \frac{1}{0,293} \cdot 20\,935$ $\quad C_2 = 71\,450,5$

$|\Phi| = C_1 |\vartheta_1'' - \vartheta_1'| = 20\,935 \cdot |80-30|$

$|\Phi| = 1046,75\ kW$

b) $\pi_2^* = \frac{\pi_2}{2} = 0,4412$

$\pi_1^* = \frac{1-e^{-(1+\pi_3)\pi_2^*}}{1+\pi_3}$

$\pi_1^* = \frac{1-e^{-(1+0,293)0,4412}}{1+0,293}$

$\pi_1^* = 0,3362$

(1) $\pi_1^* = \frac{\vartheta_2' - \vartheta_1^*}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$

$0,3362 = \frac{30-\vartheta_1^*}{30-125}$

$\vartheta_1^* = 61,94°C$

$\pi_3 = \frac{|\Delta\vartheta_2|}{|\vartheta_2' - \vartheta_1'|} = \frac{\Delta\vartheta_2}{31,939}$

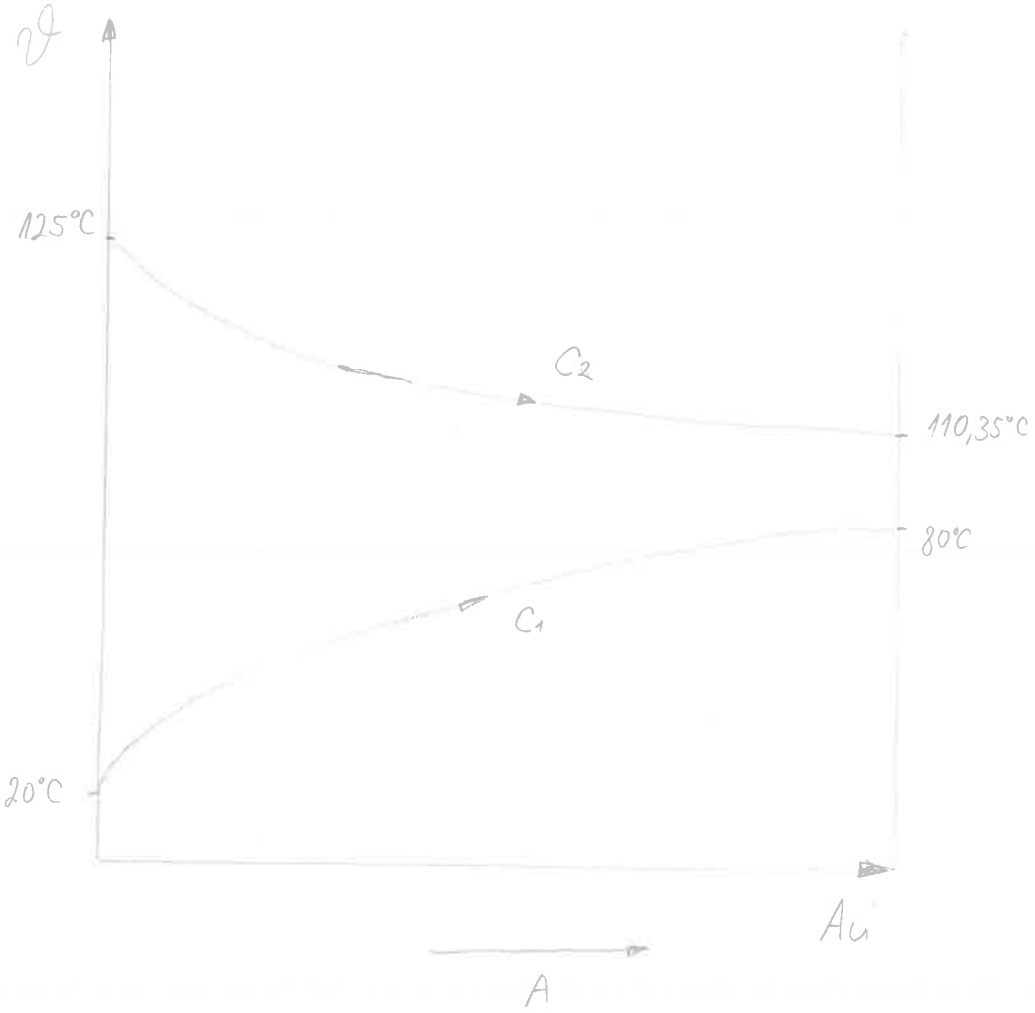
$\Delta\vartheta_2 = 9,358°C$

$\vartheta_2^* = 115,64°C$

$\frac{d\vartheta}{dA_u} = \frac{k_u}{C_1}(\vartheta_2^* - \vartheta_1^*)$

$\frac{d\vartheta}{dA_u} = \frac{1400}{20\,935}(115,64 - 61,94)$

$\frac{d\vartheta}{dA_u} = 3,59$


ϑ
125°C
C2
110,35°C
80°C
C1
20°C
Au
A

⑥ 6. veljače 2017

kapljevito gorivo | zrak | $\vartheta_{izg.} = 1200°C$

$C = 0,77$ | $\vartheta_{zr} = 250°C$

$h = 0,23$

$\vartheta_G = 0°C$

izolirano ložište $\phi_{12} = \phi$

$$O_{min} = \frac{C}{12} + \frac{h}{4} = \frac{0,77}{12} + \frac{0,23}{4} = 0,12167 \text{ kmol/kg} \checkmark$$

$$n_{C,uk} = n'_C = \frac{C}{12} = \frac{0,77}{12} = 0,064167 \text{ kmol/kg} \checkmark$$

$$n_h = \frac{h}{2} = \frac{0,23}{2} = 0,115 \text{ kmol/kg} \checkmark$$

$$Z_{stv} = \lambda \frac{O_{min}}{0,21} \checkmark$$

$$Z_{stv} = 0,5794\lambda$$

$$n_{CO_2} = n'_{C,uk} = 0,064167 \text{ kmol/kg} \checkmark$$

$$n_{H_2O} = n'_h + n'^{0}_w = 0,115 \text{ kmol/kg} \checkmark$$

$$n_{O_2} = (\lambda - 1)\, 0,12167 = 0,12167\lambda - 0,12167 \text{ kmol/kg}$$

$$n_{N_2} = 0,79\, Z_{stv} + n'_N = 0,79 \cdot 0,5794\lambda = 0,45773\lambda \text{ kmol/kg}$$

	$[C_{mp,i}]_0^{1200°C}$	n_i	$n_i[C_{mp,i}]_0^{1200°C}$
CO_2	50,740	0,064167	3,2558
H_2O	39,825	0,115	4,5799
O_2	33,633	$0,12167\lambda - 0,12167$	$4,092\lambda - 4,092$
N_2	31,828	$0,45773\lambda$	$14,569\lambda$
Σ			$18,661\lambda + 3,7437$

$$\Delta h_d = 33\,910 \cdot 0,77 + 117\,000 \cdot 0,23$$

$$\Delta h_d = 53\,020,7 \text{ kJ/kg} \checkmark$$

$$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta h_d + [C_{mp,G}] \cdot 0 + 0,5794\lambda \cdot [C_{mp,zr}]_0^{250} \cdot 250}{18,661\lambda + 3,7437}$$

$$1200 = \frac{53\,020,7 + 0,5794\lambda \cdot 29,41 \cdot 250}{18,661\lambda + 3,7437}$$

$$\lambda = 2,676 \checkmark$$

Pismeni dio ispita iz Osnova termodinamike A

1. ZADATAK

Čelična „boca" ($\rho_č$ = 7800 kg/m^3; $c_č$ = 0,460 kJ/(kg K)) u obliku šuplje kugle promjera 180/184 mm sadrži stlačeni dušik i opremljena je manometrom. Boca i njezin sadržaj imaju početnu temperaturu jednaku okolišnoj, pri čemu manometar pokazuje vrijednost 5,2 bar. Stanje okoliša je normalno.
Boca i dušik u njoj urone se u (prema van izoliranu) posudu s 4 kg vode početne temperature 17 °C i sve zajedno se zagrijava na temperaturu 75 °C električnom grijalicom.
Koliko se topline dovodi pri zagrijavanju i koliku će konačnu vrijednost pokazivati manometar? Koliku bi „snagu" i električni otpor trebala imati električna grijalica koja bi zagrijavanje dovršila za 15 minuta, priključena na napon 220 V?
Zagrijavanje dušika, čelika i vode prikazati u pripadajućim T,s- dijagramima!

2. ZADATAK

Kompresor usisava zrak iz okoliša stanja 1 bar i 20 °C, tlači ga politropski na tlak 3,5 bar i temperaturu 100 °C te ga utiskuje u neizolirani tlačni spremnik u kojem se hladi pri konstantnom tlaku na 40 °C. Stlačeni i ohlađeni zrak se potom kroz dugačku toplinski izoliranu cijev razvodi do potrošača (pneumatskog alata). Zbog trenja pri strujanju kroz cijev, tlak zraka se smanjuje na 3 bar. U cilindru pneumatskog alata zrak izentropski ekspandira do okolišnog tlaka i zatim izlazi u okoliš.
Potrebno je odrediti:

a) Snagu utrošenu za pogon kompresora i dobivenu snagu od pneumatskog alata ako je usisni protočni volumen kompresora 70 m^3/h
b) Brzinu strujanja zraka na ulazu u dugačku izoliranu cijev ako je njen unutarnji promjer 20 mm.

Proces sa zrakom prikazati u p,v- i T,s- dijagramu!

3. ZADATAK

Parni kotao proizvodi 7 t/h suhozasićene vodene pare tlaka 22 bar. Jedan dio pare odvodi se u ispušni parni stroj, a ostatak se prigušuje odmah po izlasku iz kotla i odvodi u grijalicu u kojoj potpuno kondenzira pri temperaturi 180 °C. Parni stroj daje snagu 600 kW.
Kolika je temperatura radne tvari nakon prigušivanja? Koliki se toplinski tok predaje u grijalici? Koliko toplinskog toka treba dovoditi kotlu, ako se kondenzat iz grijalice vraća u kotao, a para ispuštena iz parnog stroja u okoliš nadomješta svježom vodom iz okoliša tlaka 1 bar i temperature 15 °C?
Proces prikazati u T,s- i h,s- dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

Zagreb, 17. veljače 2017.

4. ZADATAK

Zid neke prostorije duljine 8 m i visine 3 m napravljen je od opeke debljine 12,5 cm i gustoće 1000 kg/m^3. S obje strane opeke je postavljena žbuka debljine 5 cm i gustoće 1800 kg/m^3. Temperatura zraka u prostoriji iznosi 20 °C, a izvana je temperatura zraka -15 °C. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline na unutrašnjoj strani zida iznosi 8 W/(m^2·K), a na vanjskoj strani je 15 W/(m^2·K).
Potrebno je odrediti:

a) Toplinski tok koji se kroz taj zid predaje okolišu te površinske temperature zadanih slojeva
b) Toplinski tok kao i površinske temperature za slučaj da se umjesto žbuke na vanjskoj strani zida postavi stijenka stiropora (λ_S = 0,04 W/(m·K)) debljine 8 cm
c) Za oba slučaja a) i b) odrediti udaljenost (mjereno od unutarnjeg sloja žbuke) na kojem je temperatura 0 °C.

Shodno dobivenim rezultatima skicirati raspored temperatura za slučaj pod a) i b) u zajedničkom ϑ,x-dijagramu. Također je potrebno naznačiti mjesto u slojevima gdje je temperatura 0 °C.

5. ZADATAK

Horizontalni izmjenjivač topline izveden je kao snop od 25 bakrenih cijevi (λ_{Cu} = 372 W/(m·K)) promjera 25/28 mm. Kroz cijevi struji voda koja na ulazu u izmjenjivač ima temperaturu 40 °C, a na izlazu 60 °C. Oko cijevi potpuno kondenzira zasićena vodena para sadržaja pare 0,95 i tlaka 2 bar. Ukupno izmijenjeni toplinski tok iznosi 1,167 MW. Koeficijent prijelaza topline na strani vode iznosi 2,778 kW/(m^2·K). Za izračun koeficijenta prijelaza topline na strani pare pretpostaviti temperaturu stijenke 105 °C.
Potrebno je odrediti:

a) Duljinu cijevnog snopa
b) Temperaturu vode na četvrtini površine izmjenjivača mjereno od ulaza slabije struje

Raspored temperatura struja skicirati u ϑ,A-dijagramu!

6. ZADATAK

Plin propan (C_3H_8) dostrujava u ložište s temperaturom 100 °C, a zrak s temperaturom 250 °C. Izgaranje u ložištu je potpuno, a cijeli proces teče na okolišnom tlaku 1 bar. Koliko se ukupno toplinskog toka u kW dobiva pri hlađenju dimnih plinova do 200 °C ako u ložište ulazi 7 m^3/h goriva i 240 m^3/h zraka? Koliko kilograma na sat vodene pare nastaje izgaranjem i koliki je njen parcijalni tlak u dimnim plinovima?
Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima.

1.

čelično boca

$d_u/d_v = 180/184\,mm$

$T_{1b} = 273,15\,K$

$V_b = \frac{4}{3}\pi\left(r_v^3 - r_u^3\right)$

$V_b = \frac{4}{3}\pi\left(92^3 - 90^3\right)\times 1000^{-3}$

$V_b = 0,000208\,m^3$

$m_b = \rho_č \cdot V_b$

$m_b = 7800 \cdot 0,000208$

$m_b = 1,6224\,kg$

$c_č = 0,460\,kJ/kgK$

stlačeni dušik

$T_{1d} = 273,15\,K$

$p_{1d} = p_{ok} + p_{nad}$

$p_{1d} = 1,013 + 5,2$

$p_{1d} = 6,213\,bar$

$m_d = \frac{p_{1d} \cdot V_d}{R_d \cdot T_{1d}}$

$m_d = \frac{6,213\times 10^5 \cdot 0,003054}{296,8 \cdot 273,15}$

$m_d = 0,0234\,kg$

$c_v = \frac{c_p}{\kappa} = \frac{1,043}{1,398}$

$c_v = 746,07\,J/kgK$

Volumen kugle

$\frac{4}{3} r^3\pi$

$V_d = \frac{4}{3} \cdot 90^3\pi \cdot 1000^{-3}$

$V_d = 0,003054\,m^3$

voda

$m_w = 4\,kg$

$c_w = 4187\,J/kgK$

$T_{1w} = 290,15\,K$

Uranjanje boce s dušikom u vodu te uspostavljanje ravnoteže

$Q_{12}^{\nearrow\phi} = U_2 - U_1 + W_{12}^{\nearrow\phi}$

$U_2 = U_1$

$U_2 = m_b \cdot c_č \cdot T_2 + m_d \cdot c_v \cdot T_2 + m_w \cdot c_w \cdot T_2$

$U_2 = T_2\left(m_b \cdot c_č + m_d \cdot c_v + m_w \cdot c_w\right)$

$U_1 = m_b \cdot c_č \cdot T_{1b} + m_d \cdot c_v \cdot T_{1d} + m_w \cdot c_w \cdot T_{1w}$

$T_2\left(1,6224 \cdot 460 + 0,0234 \cdot 746,07 + 4 \cdot 4187\right) = 1,6224 \cdot 460 \cdot 273,15 + 0,0234 \cdot 746,07 \cdot 273,15 + 4 \cdot 4187 \cdot 290,15$

$\boxed{T_2 = 289,41\,K}$

Zagrijavanje svega zajedno na $75°C = T_3 = 348,15\,K$

$Q_{23} = U_3 - U_2 + W_{23}^{\nearrow\phi}$

$U_3 = m_b \cdot c_č \cdot T_3 + m_d \cdot c_v \cdot T_3 + m_w \cdot c_w \cdot T_3$

$U_2 = m_b \cdot c_č \cdot T_2 + m_d \cdot c_v \cdot T_2 + m_w \cdot c_w \cdot T_2$

$Q_{23} = \left(m_b \cdot c_č + m_d \cdot c_v + m_w \cdot c_w\right)\left(T_3 - T_2\right)$

$Q_{23} = \left(1,6224 \cdot 460 + 0,0234 \cdot 746,07 + 4 \cdot 4187\right)\left(348,15 - 289,41\right)$

$\boxed{Q_{23} = 1028,64\,kJ}$

$Q_{23} = W_g$

$W_g = t \cdot P$

$P_g = \frac{1028,64}{15 \cdot 60}$

$\boxed{P_g = 1,14\,kW}$

$P_g = \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{R}$

$\boxed{R = 42,35\,\Omega}$

konačna vrijednost manometra

$$P_{3,d} = \frac{m_d \cdot R_d \cdot T_3}{V_d} = \frac{0{,}0234 \cdot 296{,}8 \cdot 348{,}15}{0{,}003054}$$

$P_{3,d} = 7{,}917$ bar

$P_{3,m} = P_{3,d} - P_{ok} = 7{,}917 - 1{,}013$

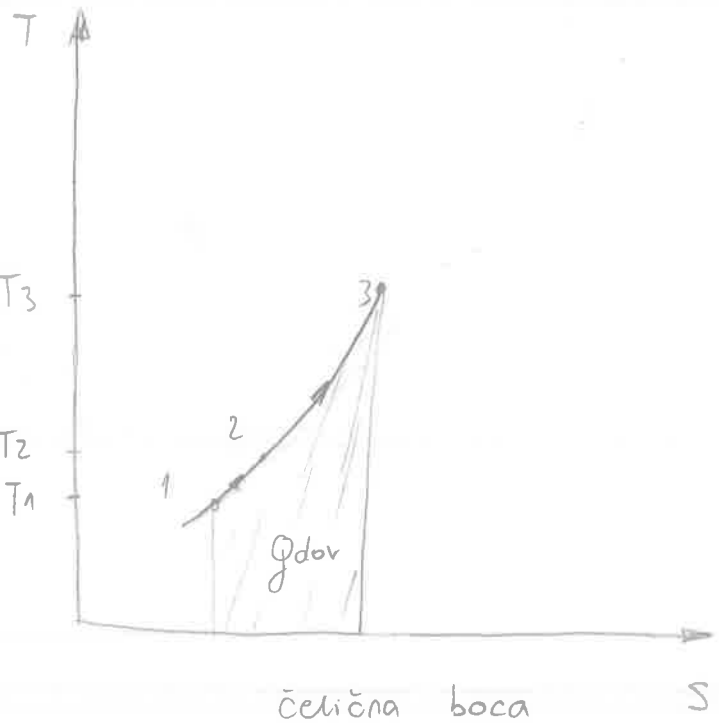
$P_{3,m} = 6{,}904 \approx \underline{6{,}9 \text{ bar}}$

NAGIB KRIVULJA U T,S DIJAGRAMU

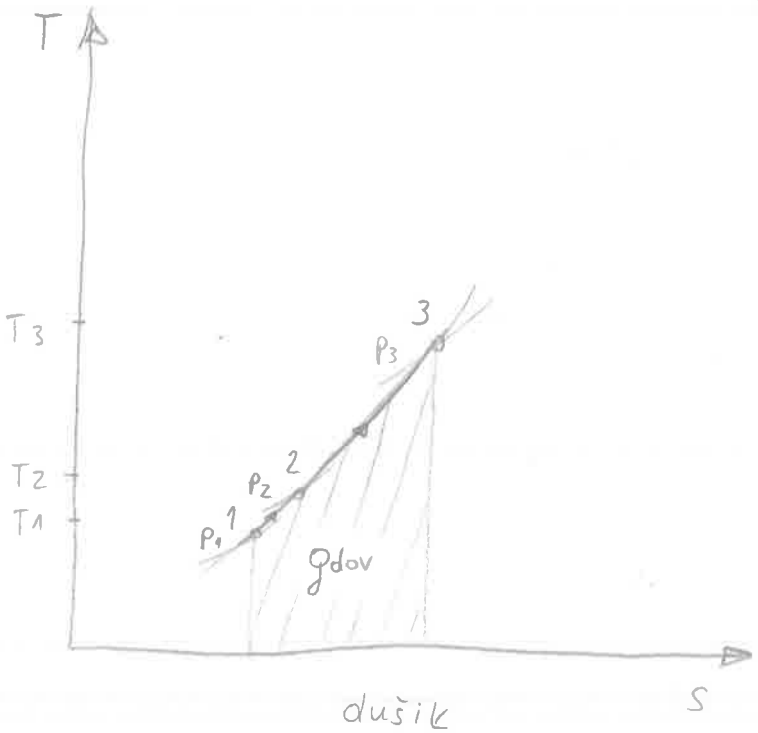
$$\left| \frac{\partial T}{\partial S} = \frac{T}{c_n} \right|$$

$c_č = 460$ J/kgK

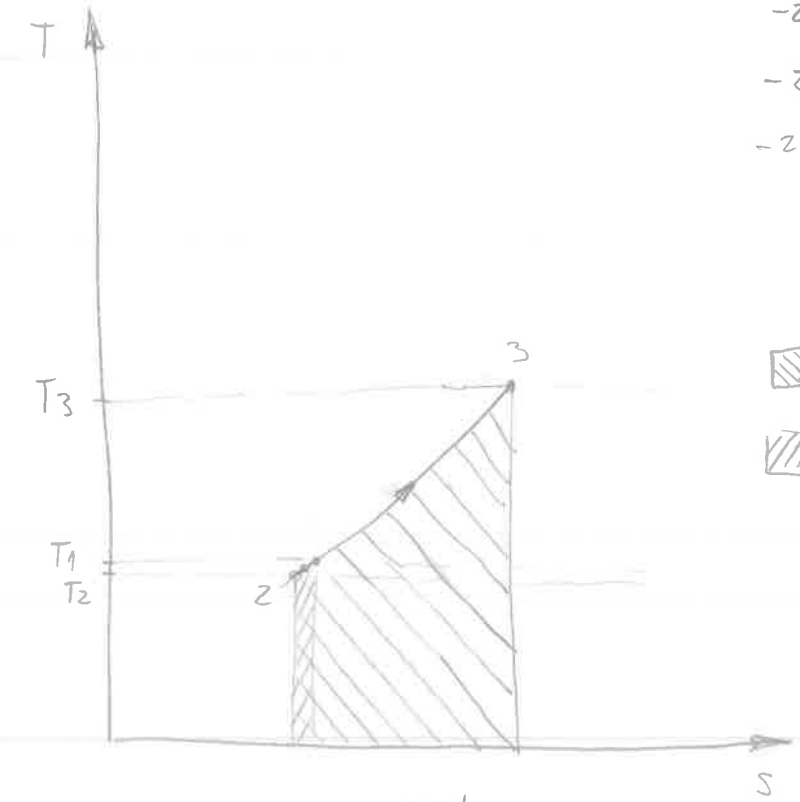
$c_{v,N_2} = 746{,}07$ J/kgK



čelična boca



dušik



voda

- za čelik je najstrmija krivulja
- za dušik malo blaža
- za vodu najpoložitija

Qdov - Qdov

Qodv - Qodv

② stanje ① $\xrightarrow{n=??}$ stanje ② $\xrightarrow{\text{izobarno hlađenje}}$ stanje ③

$p_1 = 1\ bar$

$T_1 = 293{,}15\ K$

$\dot{V}_{v,1} = \frac{70}{3600}\ m^3/s$

$\dot{V}_{v,1} = 0{,}0194\ m^3/s$

$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$\frac{293{,}15}{373{,}15} = \left(\frac{1}{3{,}5}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$n = 1{,}2386$

$p_2 = 3{,}5\ bar$

$T_2 = 373{,}15\ K$

$\dot{V}_{v2} = \frac{\dot{m} \cdot R_v \cdot T_2}{p_2}$

$\dot{V}_{v2} = \frac{0{,}0231 \cdot 287{,}1 \cdot 373{,}15}{3{,}5 \times 10^5}$

$\dot{V}_{v2} = 0{,}007071\ m^3/s$

$p_3 = p_2 = 3{,}5\ bar$

$T_3 = 313{,}15\ K$

$\frac{\dot{V}_{v,3}}{\dot{V}_{v,2}} = \frac{T_3}{T_2}$

$\dot{V}_{v,3} = 0{,}007071 \cdot \frac{313{,}15}{373{,}15}$

$\dot{V}_{v,3} = 0{,}005934\ m^3/s$

adijabatsko strujanje s trenjem (prigušenje) → stanje ④ $\xrightarrow{\text{izentropska ekspanzija}}$ stanje ⑤

$p_4 = 3\ bar$

$T_4 = T_3 = 313{,}15\ K$

$\dot{V}_{v,4} = \frac{\dot{m} \cdot R_{zr} \cdot T_4}{p_4}$

$\dot{V}_{v,4} = \frac{0{,}0231 \cdot 287{,}1 \cdot 313{,}15}{3 \times 10^5}$

$\dot{V}_{v,4} = 0{,}006923\ m^3/s$

$p_5 = p_{ok} = 1\ bar$

$T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{p_5}{p_4}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

$T_5 = 313{,}15 \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}}$

$T_5 = 228{,}79\ K$

$\dot{V}_{v,5} = \frac{\dot{m} R_{zr} T_5}{p_5}$

$\dot{V}_{v,5} = 0{,}01517\ m^3/s$

$\dot{m} = \frac{\dot{V}_{v,1} \cdot p_1}{R_{zr} \cdot T_1}$

$\dot{m} = \frac{0{,}0194 \cdot 10^5}{287{,}1 \cdot 293{,}15}$

$\dot{m} = 0{,}0231\ kg/s \approx 83{,}2\ kg/h$

snaga kompresora

$P_{12} = \dot{m} \cdot n \cdot \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2)$

$P_{12} = 0{,}0231 \cdot 1{,}2386 \cdot \frac{287{,}1}{1{,}2386 - 1}(293{,}15 - 373{,}15)$

$P_{12} = -2754{,}2\ W \approx -2{,}75\ kW$

brzina strujanja zraka

$\dot{V}_{v,3} = w_3 A$

$w_3 = \frac{0{,}005934}{0{,}0003141\,6}$

$w_3 = 18{,}89\ m/s$

$A = \frac{d_u^2 \pi}{4}$

$A = \frac{20^2 \pi}{4} = 314{,}16\ mm^2$

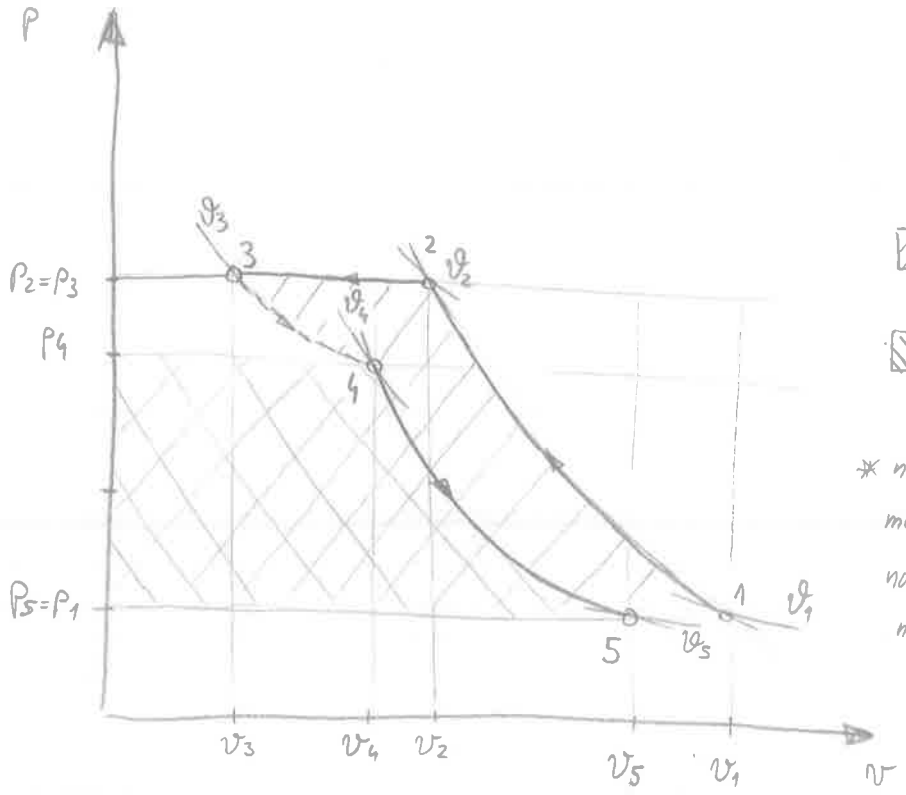
$A = 0{,}0003141\,6\ m^2$

snaga dobivena iz pneumatskog alata

$P_{45} = \dot{m} \cdot \kappa \frac{R}{\kappa - 1}(T_4 - T_5)$

$P_{45} = 0{,}0231 \cdot 1{,}4 \cdot \frac{287{,}1}{0{,}4}(313{,}15 - 228{,}79)$

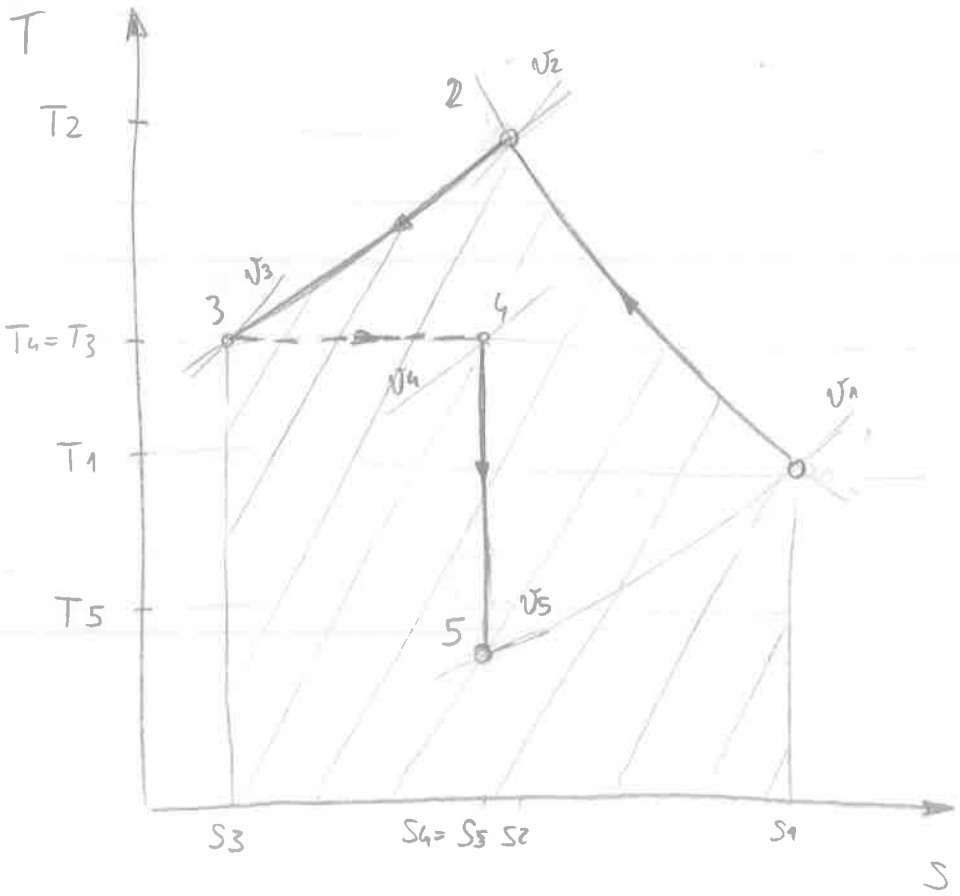
$P_{45} = 1958{,}17\ W \approx 1{,}96\ kW$



▨ - $w_{teh} < 0$

▨ - $w_{teh} > 0$

* napomena: politropa od 1-2 mora biti položitija u odnosu na izentropu 4-5 iako to nije dobro prikazano u grafu



▨ - q_{odv}

(3)

Stanje (1) — prigušivanje → Stanje (2) — kondenzacija → Stanje (3)

$\dot{q}_{m,p} = \frac{7000}{3600}\ kg/s = 1,94\ kg/s$

$p_1 = 22\ bar$

$\vartheta_1 = 217,26\ °C$

$v_1 = v_1'' = 0,090695\ m^3/kg$

$h_1 = h_1'' = 2800,20\ kJ/kg$

$s_1 = s_1'' = 6,304\ kJ/kgK$

$h_2 = h_1 = 2800,20\ kJ/kg$

$p_2 = p_3 = p_{kond}$

$p_2 = 10,026\ bar \approx 10\ bar$

interpolacija

$\vartheta_2 = 180 + \frac{190-180}{2803,52-2777,43}(2800,2-2777,43)$

$\boxed{\vartheta_2 \approx 188,73\ °C}$

$\vartheta' = \vartheta_3 = 180\ °C$

$p_{kond,180°C} = 10,026\ bar$

$h_3 = h' = 763,19\ kJ/kg$

$s_3 = s' = 2,1395\ kJ/kgK$

$\dot{q}_{m,b} = \dot{q}_m - \dot{q}_{m,a}$

$\dot{q}_{m,b} = 1,9444 - 1,16$

$\dot{q}_{m,b} = 0,784\ kg/s$

pumpa

ispušni ventil

Stanje (5)

$p_5 = p_{ok} = 1\ bar$

$s_5 = s_1 = 6,304\ kJ/kgK$

$x_5 = \frac{s_5 - s_5'}{s_5'' - s_5'}$

$x_5 = \frac{6,304 - 1,3026}{7,3588 - 1,3026}$

$x_5 = 0,826\ kg/kg$

$p_{15} = 600\ kW$

$\dot{q}_{m,a}(h_1 - h_5) = 600$

$h_5 = h' + x_5 r$

$h_5 = 417,436 + 0,826 \cdot 2257,51$

$h_5 = 2282,14\ kJ/kg$

$\vartheta_5 = 99,61\ °C$

$\dot{q}_{m,a} = \frac{600}{2800,2 - 2282,14}$

$\dot{q}_{m,a} = 1,16\ kg/s$

Stanje (6) $h_5 \approx h_6$

$p_6 = 1\ bar$

$\vartheta_6 = 15\ °C$

$h_6 = 63,065\ kJ/kg$

interpolacija $\frac{84,04 + 42,12}{2}$

Stanje (4)

$h_4 \approx h_3$

$s_4 = s_3$

$p_4 = p_1 = 22\ bar$

toplinski tok u grijalici

$\Phi_{23} = \dot{q}_{m,b}(h_3 - h_2)$

$\Phi_{23} = 0,784(763,19 - 2800,2)$

$\Phi_{23} = -1597,92\ kW \approx -1,6\ MW$

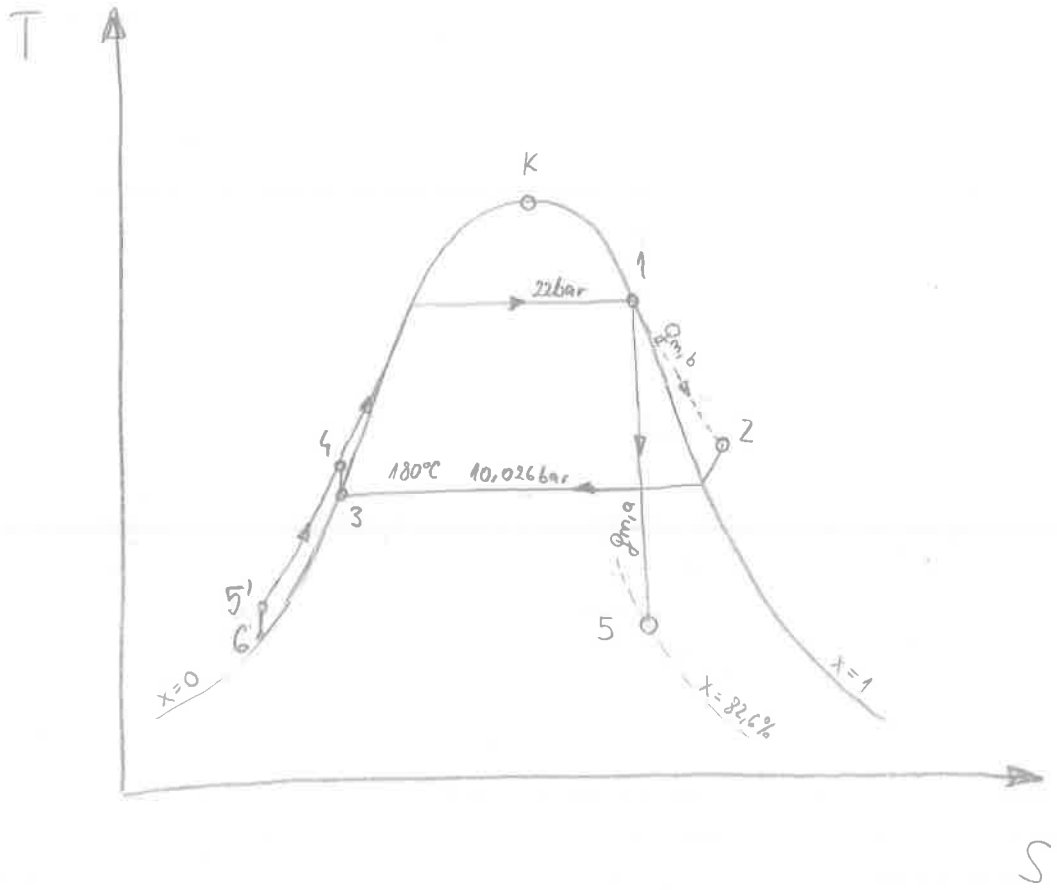
toplinski tok dovoden kotlu

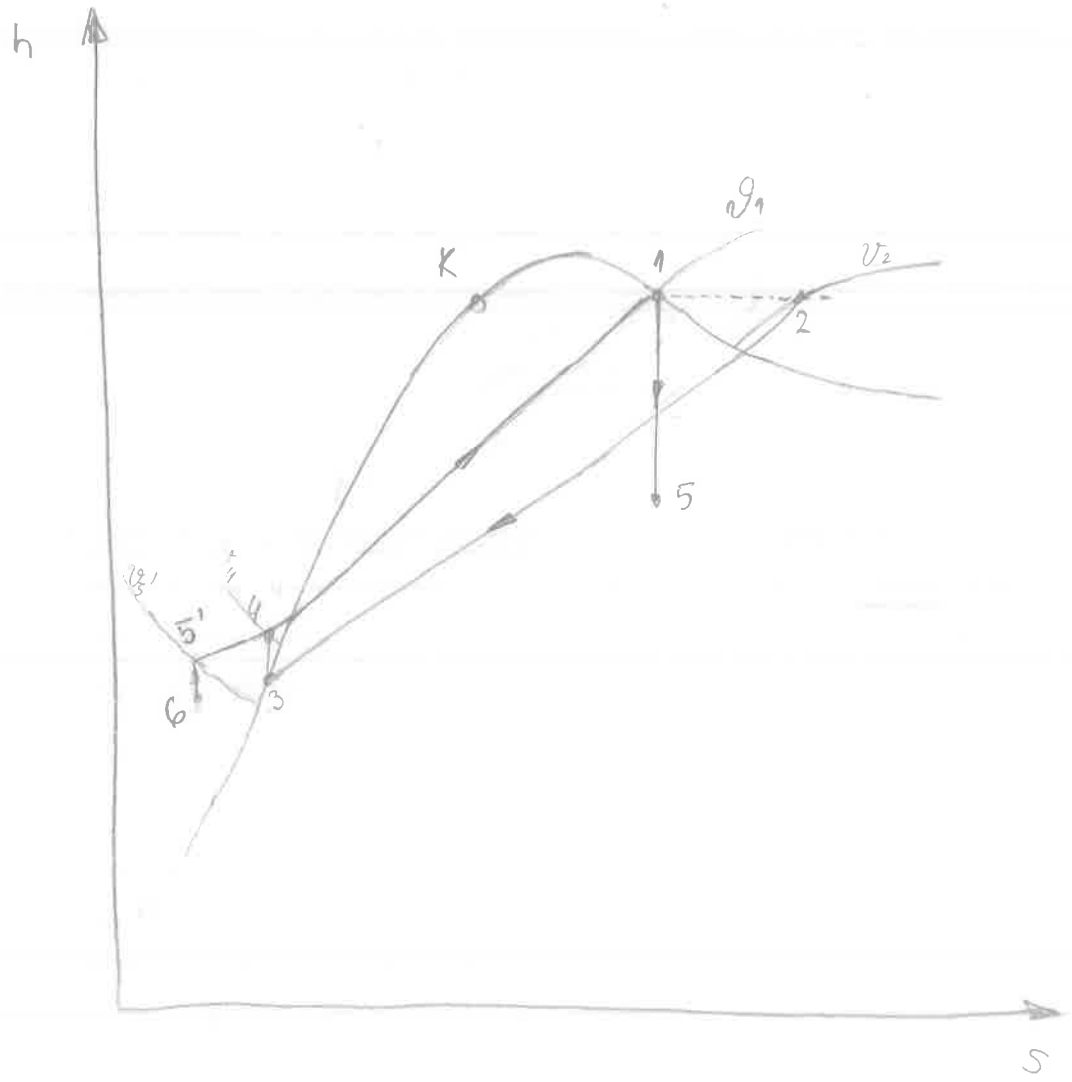
$\Phi_{dov,kotl} = \Phi_{41} + \Phi_{5'1}$

$\Phi_{dov,kotl} = \dot{q}_{m,b}(h_1 - h_4) + \dot{q}_{m,a}(h_1 - h_6)$

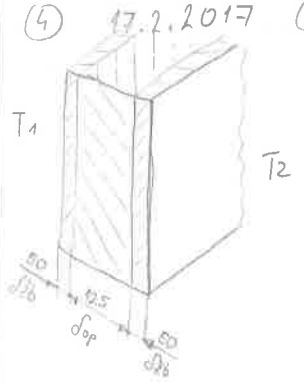
$\Phi_{dov,kotl} = 0,784(2800,2 - 763,19) + 1,16(2800,2 - 63,065)$

$\Phi_{dov,kotl} = 4773\ kW \approx 4,8\ MW$


T
K
1
22bar
4
180°C
10,0266bar
2
3
5'
6
5
x=0
x=1
x=82,6%
S


h
K
1
2
5
5'
6
3
4
S

(4) 17.2.2017 (A)



$\delta_{žb} = 50mm = 0,05m$

$\delta_{op} = 125mm = 0,125m$

$A = 8 \times 3\ m^2$

$A = 24m^2$

žbuka	opeka
$\delta_{žb} = 0,05m$	$\delta_{op} = 0,125\ m$
$\rho = 1800\ kg/m^2$	$\rho = 1000\ kg/m^2$
$\lambda_{žb} = 0,814\ W/mK$	$\lambda_{op} = 0,326\ W/mK$

$T_1 = 20°C$

$T_2 = -15°C$

$\alpha_u = 8\ W/m^2K$

$\alpha_v = 15\ W/m^2K$

$$\Phi_{a)} = \frac{A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)}{\frac{1}{\alpha_u} + 2 \cdot \frac{\delta_{žb}}{\lambda_{žb}} + \frac{\delta_{op}}{\lambda_{op}} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{24\,(20+15)}{\frac{1}{8} + 2 \cdot \frac{0,05}{0,814} + \frac{0,125}{0,326} + \frac{1}{15}}$$

$\Phi_{a)} = 1203,52\ W$

$$\vartheta_{žb1,u} = \vartheta_1 - \frac{\Phi_{a)}}{A}\left(\frac{1}{\alpha_u}\right)$$

$$\vartheta_{žb1,u} \quad 20 - \frac{1203,52}{24}\left(\frac{1}{8}\right)$$

$\vartheta_{žb1,u} = 13,73°C$

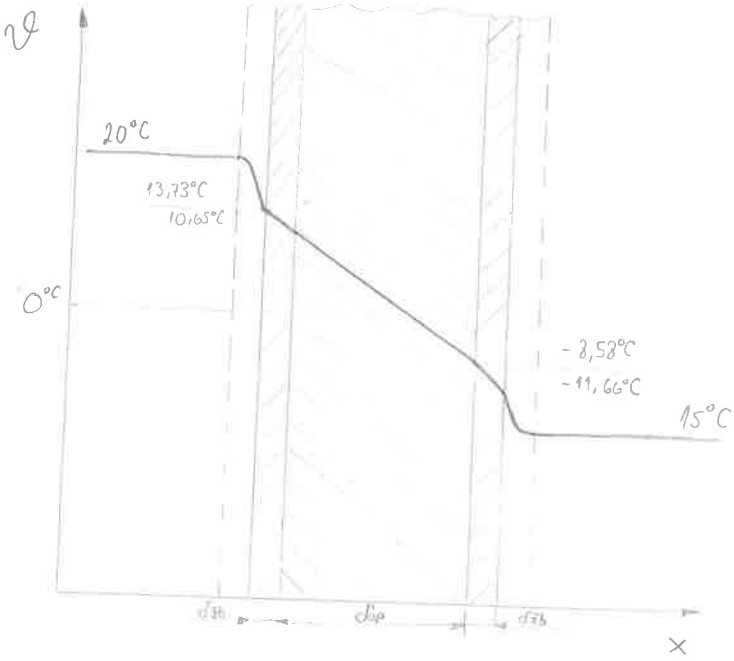
$$\vartheta_{žb1,v} = \vartheta_{žb1,u} - \frac{\Phi_{a)}}{A}\left(\frac{\delta_{žb}}{\lambda_{žb}}\right)$$

$\vartheta_{žb1,v} = 10,65°C = \vartheta_{op,u}$

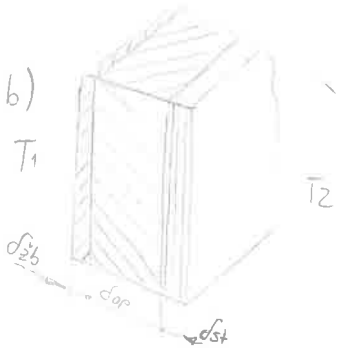
$\vartheta_{op,v} = \vartheta_{žb2,u} = \ldots = -8,58°C$

$\vartheta_{žb2,v} = \ldots = -11,66°C$

$\vartheta_2 = -15°C$



b)



žbuka	opeka	stiropor
$\delta_{žb} = 0,05\ m$	$\delta_{op} = 0,125m$	$\delta_{st} = 0,08\ m$
$\lambda_{žb} = 0,814\ W/mK$	$\lambda_{op} = 0,326\ W/mK$	$\lambda_{st} = 0,04\ W/mK$

$$\Phi_{b)} = \frac{A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_{žb}}{\lambda_{žb}} + \frac{\delta_{op}}{\lambda_{op}} + \frac{\delta_{st}}{\lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_v}}$$

$$\Phi_{b)} = \frac{24\,(35)}{\frac{1}{8} + \frac{0,05}{0,814} + \frac{0,125}{0,326} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{1}{15}}$$

$\Phi_{b)} = 318,6\ W$

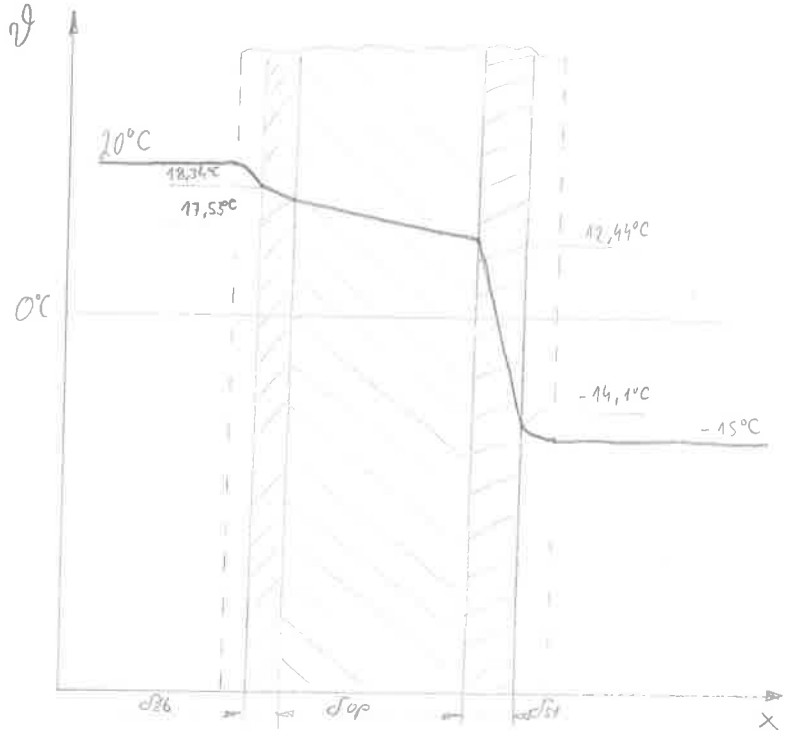
$\vartheta_{žb,u} = 18,34°C$

$\vartheta_{žb,v} = 17,53°C = \vartheta_{op,u}$

$\vartheta_{op,v} = 12,44°C = \vartheta_{st,u}$

$\vartheta_{st,v} = -14,1°C$

$\vartheta_2 = -15°C$



c) Prema dijagramu, a s temperaturama može se procijeniti gdje će temp biti: 0°C

1) slučaj pod a)

$$\vartheta_x = \vartheta_{žb,u} - \frac{\Phi_{61}}{A} \cdot \left(\frac{\delta_x}{\lambda_{op}}\right)$$

$$0 = 10{,}65 - \frac{1203{,}52}{24}\left(\frac{\delta x}{0{,}326}\right)$$

$$\delta_x = 0{,}0692\ m$$

$$\delta_{uk} = \delta_{žb} + \delta_x = 0{,}05 + 0{,}0692$$

$$\delta_{uk} = 0{,}119\ m$$

$$119\ mm \approx 12\ cm$$

2) slučaj pod b)

$$\vartheta_x = \vartheta_{op,v} - \frac{\Phi_{61}}{A}\left(\frac{\delta_x}{\lambda_{st}}\right)$$

$$0 = 12{,}44 - \frac{318{,}6}{24}\left(\frac{\delta_x}{0{,}04}\right)$$

$$\delta_x = 0{,}0375\ m$$

$$\delta_{uk} = \delta_{žb} + \delta_{op} + \delta_x = 0{,}05 + 0{,}125 + 0{,}0375$$

$$\delta_{uk} = 0{,}2125\ m \approx 21{,}3\ cm$$

(5.) 17. veljače 2017.

$n = 25$ $\quad X = 0,95$

$\lambda_{Cu} = 372\ W/mK$

$d_1/d_2 = 25/28\ mm$

$\pi_3 = 0$

$$\pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$$

$$\pi_1 = \frac{40 - 60}{40 - 120,21} = 0,2493$$

$\alpha_u = 2778\ W/m^2K$

$T_{stpri} = 105°C$

$$C_1 = \frac{\varepsilon_v \cdot A_v}{\pi_2} \qquad A_v = n \cdot d_2 \pi \cdot L$$

$$\Phi = C_1 \cdot |\vartheta_1'' - \vartheta_1'| \qquad \Phi = 1,167 \times 10^6\ W$$

$$C_1 = \frac{1,167 \times 10^6}{20} = 58350\ W/K$$

$$\frac{C_1 \cdot \pi_2}{\varepsilon_v \cdot n \cdot d_2 \pi} = L$$

$$L = \frac{58350 \cdot 0,28675}{2001,44 \cdot 25 \cdot 0,028\pi}$$

$L = 3,8\ m$

b) $\pi_2^* = \pi_2/4$

$\pi_2^* = 0,0717$

$\pi_1^* = 1 - e^{-\pi_2^*}$

$\pi_1^* = 0,0692$

$$\pi_1^* = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1^*}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$$

$$0,0692 = \frac{40 - \vartheta_1^*}{40 - 120,21}$$

$\vartheta_1^* = 45,55°C$

$\vartheta_a' = 40°C$

$\vartheta_a'' = 60°C$

$\Delta\vartheta_b = 0$

$$\pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = \frac{|\Delta\vartheta_2|}{|\Delta\vartheta_1|}$$

$$\pi_3 = \frac{0}{20} = 0$$

temperatura zasićenja za $X = 0,95\ kg/kg$ i $p = 2bar$ $\quad T = 120,21°C$

$\vartheta_2'' = \vartheta_2' = 120,21°C$

$\vartheta_1' = 40°C \quad \vartheta_1'' = 60°C$

$$\pi_2 = -\ln(1 - \pi_1) = -\ln(1 - 0,2493)$$

$\pi_2 = 0,28675$

kondenzacija na vanjskoj površini vodoravne cijevi

$$\alpha_m = \sqrt[4]{\frac{\rho^2 \lambda^3 g \Delta h}{4 \mu (\vartheta' - \vartheta_s) d_v}}$$

$$\vartheta_m = \frac{105 + 120,21}{2} = 112,6°C$$

interpolacija

$\rho_{112,6°C} = 948,97\ kg/m^3$ $\quad \mu = 248,811 \times 10^{-6}\ Pas$

$\lambda_{112,6°C} = 0,6821\ W/mK$ $\quad h = h' + X(h'' - h')$

$\Delta h = h - h'$ $\quad h = 504,68 + 0,95(2706,24 - 504,68)$

$\Delta h = 2596,162 - 504,68$ $\quad h = 2596,162\ kJ/kg$

$\Delta h = 2091,482 \times 10^3\ J/kg$

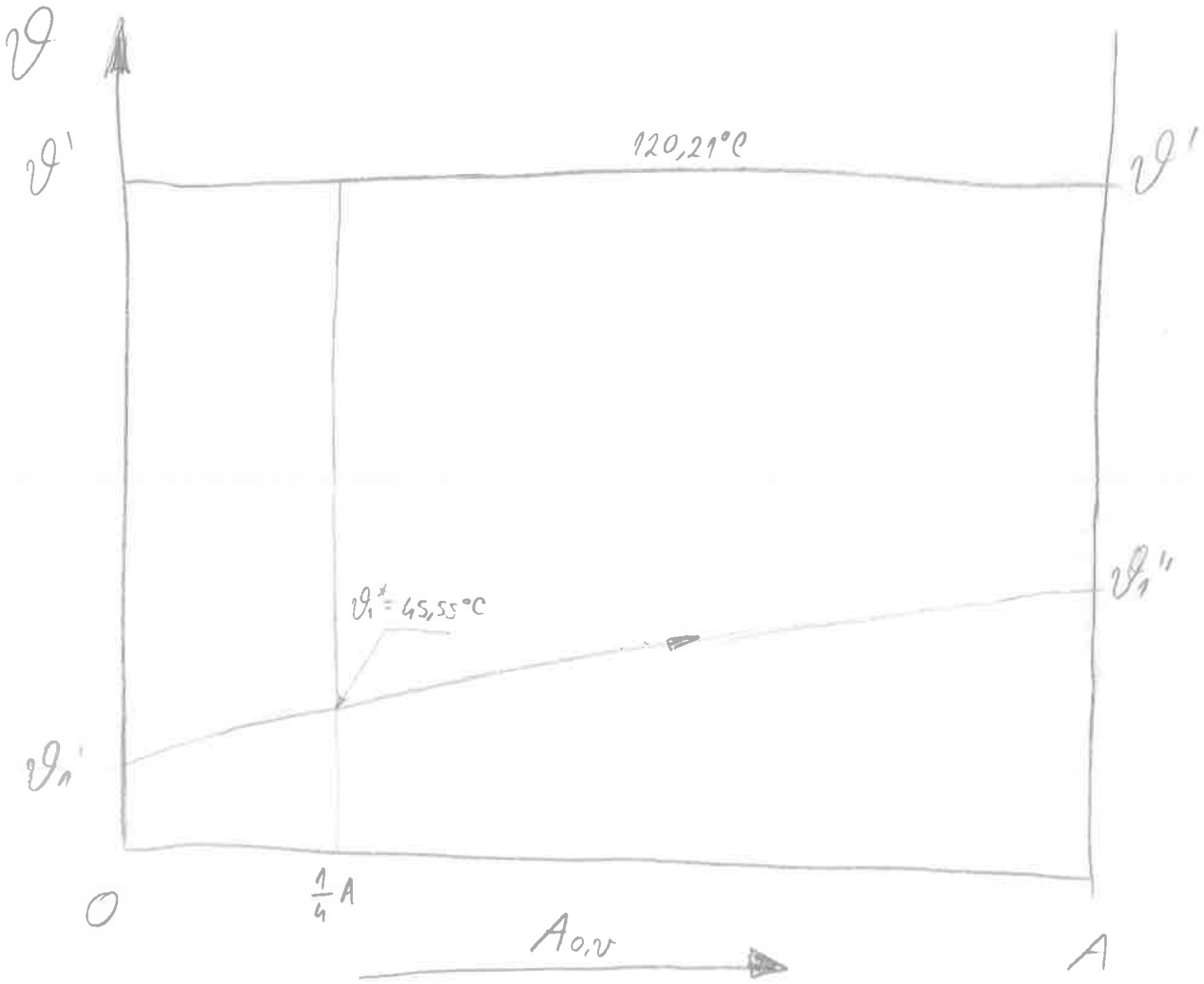
$$\alpha_m = \sqrt[4]{\frac{948,97^2 \cdot 0,6821^3 \cdot 9,81 \cdot 2091,482 \times 10^3}{4 \cdot 248,811 \times 10^{-6} \cdot (120,21 - 105) \cdot 0,028}}$$

$\alpha_m = 10\,845,23\ W/m^2K$

$$\varepsilon_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \alpha_u} + \frac{R_v}{\lambda_{Cu}} \ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_v}}$$

$$\varepsilon_v = \frac{1}{\frac{28}{25 \cdot 2778} + \frac{0,014}{372} \ln\frac{28}{25} + \frac{1}{10\,845,23}}$$

$\varepsilon_v = 2001,44\ W/m^2K$


ϑ
ϑ'
120,21°C
ϑ'
ϑ₁'' = 45,55°C
ϑ₁''
ϑ₁'
O
¼ A
A
A₀,ᵥ

(6) C_3H_8 zrak $P = 1\ bar$

$\vartheta_G = 100°C$ $\vartheta_{zr} = 250°C$

$\dot{V}_{v,G} = \frac{7}{3600}\ m^3/s$ $\dot{V}_{v,zr} = \frac{240}{3600}\ m^3/s$

$\dot{n}_{n,G} = \frac{\dot{V}_{v,G} \cdot p}{R_m \cdot T_G}$ $\dot{n}_{n,zr} = \frac{240 \cdot 10^5}{3600 \cdot 8314 \cdot 523,15}$ $z_{stv} = \frac{\dot{n}_{n,zr}}{\dot{n}_{n,G}}$

$\dot{n}_{n,G} = \frac{7 \cdot 10^5}{3600 \cdot 8314 \cdot 373,15}$ $\dot{n}_{n,zr} = 1,5328 \times 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$ $z_{stv} = \frac{2,1489 \times 10^{-3}}{6,2676 \times 10^{-5}}$

$\dot{n}_{n,G} = 6,2676 \times 10^{-5}\ \frac{kmol}{s}$ $z_{stv} = 24,455\ kmol/kmol_G$

STEHIO

$1\ kmol\ C_3H_8 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) kmol\ O_2 \longrightarrow 3\ kmol\ CO_2 + \frac{8}{2}\ kmol\ H_2O$

$\lambda = \frac{0,21 z_{stv}}{O_{min}}$

$O_{min} = 5\ kmol/kmol_G$

$\lambda = \frac{0,21 \cdot 24,455}{5}$

$\lambda = 1,027$

$n_{CO_2} = 3\ kmol/kmol$

$n_{H_2O} = 4\ kmol/kmol$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) O_{min} = 0,027 \cdot 5$

$n_{O_2} = 0,135\ kmol/kmol$

$n_{N_2} = 0,79 z_{stv} = 0,79 \cdot 24,455$

$n_{N_2} = 19,32\ kmol/kmol$

$\left[C_{mp,G}\right]_0^{100} = 78,67\ kJ/kmol\,K$

$\left[C_{mp,z}\right]_0^{250} = 29,41\ kJ/kmol\,K$

	n_i	$\left[C_{mp,i}\right]_0^{200}$	$\left[n_i C_{mp,i}\right]_0^{200}$
CO_2	3	40,059	120,177
H_2O	4	34,118	136,472
O_2	0,135	29,931	4,0407
N_2	19,32	29,228	564,685
$\sum$	28,52		825,375 kJ/kmol K

$\dot{H}_z = \dot{n}_{n,G} \sum n_i \left[C_{mp,i}\right]_0^{200} \cdot \vartheta_z$

$\dot{H}_1 = \dot{n}_{n,G} \left(\left[C_{mp,G}\right]_0^{\vartheta_G} \cdot \vartheta_G + z_{stv} \left[C_{mp,z}\right]_0^{\vartheta_z} \cdot \vartheta_z \right)$

$\Delta H_{md} = 2044 \times 10^3\ kJ/kmol$

$\Delta \dot{E}_{kem} = - \dot{n}_{n,G} \cdot \Delta H_{md}$

$\vartheta_z = \frac{\Delta H_{md} + \left[C_{mp,G}\right]_0^{100} \cdot \vartheta_G + z_{stv} \left[C_{mp,z}\right]_0^{250} \cdot \vartheta_z - |q_{odv}|}{\sum n_i \left[C_{mp,i}\right]_0^{\vartheta_z}}$

$200 = \frac{2044 \times 10^3 + 78,67 \cdot 100 + 24,455 \cdot 29,41 \cdot 250 - |q_{odv}|}{825,375}$

$q_{odv} = -2,0666\ MJ/kmol_G$ $\boxed{\Phi_{odv} = 129,53\ kW}$

$$n_{H2O} = \frac{\dot{q}_{n,H2O}}{\dot{q}_{n,6}}$$

$$n_{H2O} \cdot \dot{q}_{n,6} = \dot{q}_{n,H2O}$$

$$\dot{q}_{n,H2O} = 4 \cdot 6,2676 \times 10^{-5}$$

$$\underline{\dot{q}_{n,H2O} = 2,507 \times 10^{-4} \text{ mol/s}}$$

$$\dot{q}_{m,H2O} = \dot{q}_{n,H2O} \cdot M$$

$$\dot{q}_{m,H2O} = 2,507 \times 10^{-4} \cdot 18,02$$

$$\dot{q}_{m,H2O} = 4,517614 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\dot{q}_{m,H2O} = 16,26 \text{ kg/h}}$$

1. ZADATAK

Dimni plinovi molnog sastava 12% CO_2, 6% H_2O, 5% O_2 i 77% N_2, početnog stanja 10 bar i 1000 °C, u plinskoj turbini ekspandiraju adijabatski s trenjem do okolišnog tlaka 1 bar i temperature 500 °C, a potom se u izmjenjivaču topline hlade do 200 °C predajući toplinski tok vodi temperature 20 °C koja se pri tlaku 2 bar zagrijava do temperature 100 °C.

Za maseni protok dimnih plinova 20000 kg/h, izračunajte snagu plinske turbine i maseni protok zagrijavane vode!

Za dimne plinove računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima!

Proces s dimnim plinovima skicirati u p,v i T,s -dijagramu, a s vodom samo u T,s -dijagramu!

2. ZADATAK

Izolirani spremnik volumena 0,5 m^3 podijeljen je pregradom na dva *jednaka* dijela. U jednom dijelu je smjesa dušika i ugljikovog dioksida, *jednakih* molnih udjela, a termometar i manometar na tom dijelu posude pokazuju vrijednosti 15 °C i 0,2 bar. U drugom dijelu je zrak temperature 20 °C, a manometar na tom dijelu posude pokazuje vrijednost 250 mm Hg.

Kolika će biti temperatura u spremniku nakon miješanja ovih plinova i koliku će vrijednost pokazivati manometar? Stanje okoliša je *normalno*.

3. ZADATAK

Mokra vodena para tlaka 5 bar, u kojoj kapljevita voda zauzima 3% od ukupnog početnog volumena, ekspandira *izotermno* od početnog volumena 0,1 m^3 do konačnog tlaka 1 bar.

Koliki je konačni volumen pare? Koliko rada obavi para svojim širenjem i koliko topline ona primi u procesu?

Proces s parom skicirati u p,v, T,s i h,s -dijagramu! U dijagramima naznačiti izmijenjeni rad i toplinu!

4. ZADATAK

U čelični parovod promjera 106/114 mm i duljine 25 metara, ulazi pregrijana vodena para tlaka 10 bar i temperature 300 °C, masenog protoka 2500 kg/h. Cijev je izvana obložena izolacijom debljine 60 mm (λ = 0,07 W/(m K)) i tankim aluminijskim limom (ε = 0,25), a okružena je zrakom i velikim plohama jednake temperature 10 °C. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline s lima na zrak iznosi 20 W/(m^2 K).

Izračunajte temperaturu vanjske površine izolacije te toplinski tok koji se izmjenjuje na cijeloj duljini cijevi! Koliki je toplinski otpor same izolacije? Za koliko se smanji temperatura pare prolaskom kroz cijev?

5. ZADATAK

U izmjenjivaču topline, koji je izveden kao snop od 20 paralelno spojenih čeličnih cijevi promjera 30/36 mm, zagrijava se 20000 kg/h vode (koja struji kroz cijevi) od 25 °C na 75 °C. Oko cijevi potpuno kondenzira pregrijana vodena para tlaka 2 bar i ulazne temperature 150 °C. Koeficijent prolaza topline sveden na *unutarnju* površinu cijevi iznosi 1500 W/(m^2 K).

a) Izračunajte duljinu cijevnog snopa, toplinski tok i potrošak pare!
b) Kolika je površina (duljina cijevnog snopa) mjerena od ulaza vode, potrebna da se izmijeni *polovina* od ukupnog toplinskog toka?
c) Kolika je derivacija temperature vode po površini na tom mjestu površine izmjenjivača? Kolika je *najveća* i *najmanja* derivacija temperature vode po površini izmjenjivača?

Raspored temperatura jedne i druge struje skicirati u ϑ, A -dijagramu i naznačiti tražene derivacije!

6. ZADATAK

Plin propan (C_3H_8) dostrujava u mješalište s temperaturom 100 °C, a zrak s temperaturom 200 °C. Gorivo i zrak se pomiješaju u izoliranom mješalištu i tako pomiješani ulaze u ložište. Izgaranje u ložištu je potpuno s faktorom pretička zraka λ = 1.1, a cijeli proces teče na okolišnom tlaku 1 bar.

a) Ako u mješalište ulazi 5 m^3/h goriva i odgovarajući protok zraka, izračunajte temperaturu gorive smjese nakon miješanja, a prije ulaska u ložište! Koliko se ukupno (kW) toplinskog toka dobiva pri hlađenju dimnih plinova do 100 °C?
b) Koliko m^3/h zraka treba dovoditi u mješalište, te koliko kg/h vodene pare nastaje izgaranjem i koliki je njen parcijalni tlak u dimnim plinovima?

Miješanje goriva i zraka računati s molarnim toplinskim kapacitetima pri 0 °C, a izgaranje sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima!

(1)

$y_{CO_2} = 0,12$

$y_{H_2O} = 0,06$

$y_{O_2} = 0,05$

$y_{N_2} = 0,77$

Stanje (1)

$p_1 = 10\ bar$

$T_1 = 1000°C \triangleq 1273,15K$

$\dot{g}_{m,dp} = \frac{20000}{3600}\ kg/s$

adijabatsko ekspanzija s trenjem →

Stanje (2)

$p_2 = p_{okl} = 1\ bar$

$T_2 = 500°C \triangleq 773,15K$

izobarno hlađenje →

Stanje (3)

$p_3 = p_2 = 1\ bar$

$T_3 = 200°C$

$\dot{\phi}_{23} = -\dot{\phi}_{rw}$

$\dot{\phi}_{rw} = \dot{g}_{m,rw} \cdot c_w \cdot \Delta T$

$\boxed{\dot{g}_{m,rw} = 5,53\ kg/s}$

$P_t = \dot{g}_{n,dp} \left[c_{mp}\right]_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \cdot (T_1 - T_2)$

$P_t = 0,1881 \cdot 35,974 \cdot (1000 - 500)$

$\boxed{P_t = 3383,35\ kW}$

b) $\dot{\phi}_{23} = \dot{g}_{n,dp} \left[c_{mp,M}\right]_{200}^{500} \cdot (T_3 - T_2)$

$\dot{\phi}_{23} = 0,1881 \cdot 32,843 (-300)$

$\boxed{\dot{\phi}_{23} = -1853,33\ kW}$

$\dot{\phi}_{rw} = 1853,33\ kW$

$\dot{g}_{m,rw} = \frac{1853,33}{4,187 \cdot 80}$

$\left[c_{mp,CO_2}\right]_{200}^{500} = 47,582\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,H_2O}\right]_{100}^{500} = 36,638\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,O_2}\right]_{200}^{500} = 32,269\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,N_2}\right]_{200}^{500} = 30,288\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,M}\right]_{200}^{500} = 0,12 \cdot 47,582 + 0,06 \cdot 36,638 + \ldots$

$\left[c_{mp,M}\right]_{200}^{500} = 32,843\ kJ/kmolK$

$\dot{g}_{n,dp} = \frac{\dot{g}_{m,dp}}{M_{sm}}$

$M_{sm} = \sum_{i=1}^{n} y_i \cdot M_i$

$M_{sm} = 0,12 \cdot 44,01 + 0,06 \cdot 18,02 + 0,05 \cdot 32 + 0,77 \cdot 28,016$

$M_{sm} = 29,535\ kg/kmol$

$\dot{g}_{n,dp} = \frac{20000}{29,535 \cdot 3600} \Rightarrow \boxed{\dot{g}_{n,dp} = 0,1881\ \frac{kmol}{s}}$

$\left[c_{mp,M}\right]_{500}^{1000} = \sum y_i \left[c_{mp,i}\right]_{500}^{1000}$

$\left[c_{mp,i}\right]_{500}^{1000} = \frac{\left[c_{mp,i}\right]_{0}^{1000} \cdot 1000 - \left[c_{mp,i}\right]_{0}^{500} \cdot 500}{1000 - 500}$

$\left[c_{mp,CO_2}\right]_{500}^{1000} = \frac{49,392 \cdot 1000 - 44,573 \cdot 500}{500}$

$\left[c_{mp,CO_2}\right]_{500}^{1000} = 54,211\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,H_2O}\right]_{500}^{1000} = 41,608\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,O_2}\right]_{500}^{1000} = 34,902\ kJ/kmolK$

$\left[c_{mp,N_2}\right]_{500}^{1000} = 32,762\ kJ/kmolK$

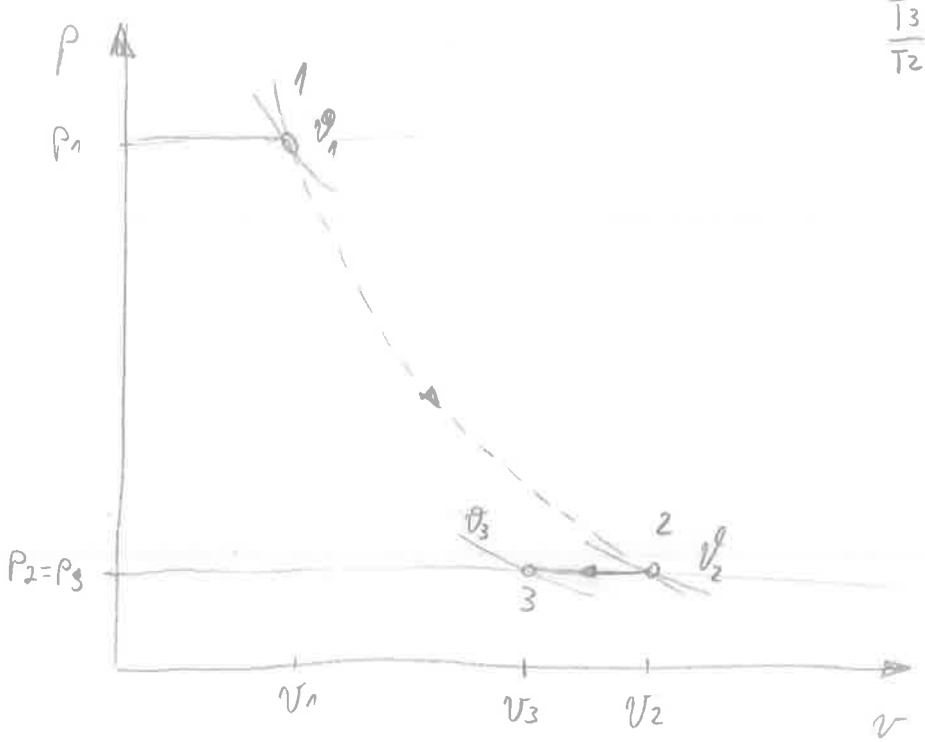
$\left[c_{mp,M}\right]_{500}^{1000} = 0,12 \cdot 54,211 + 0,06 \cdot 41,608 + 0,05 \cdot 34,902 + 0,77 \cdot 32,762$

$\boxed{\left[c_{mp,M}\right]_{500}^{1000} = 35,974\ kJ/kmolK}$

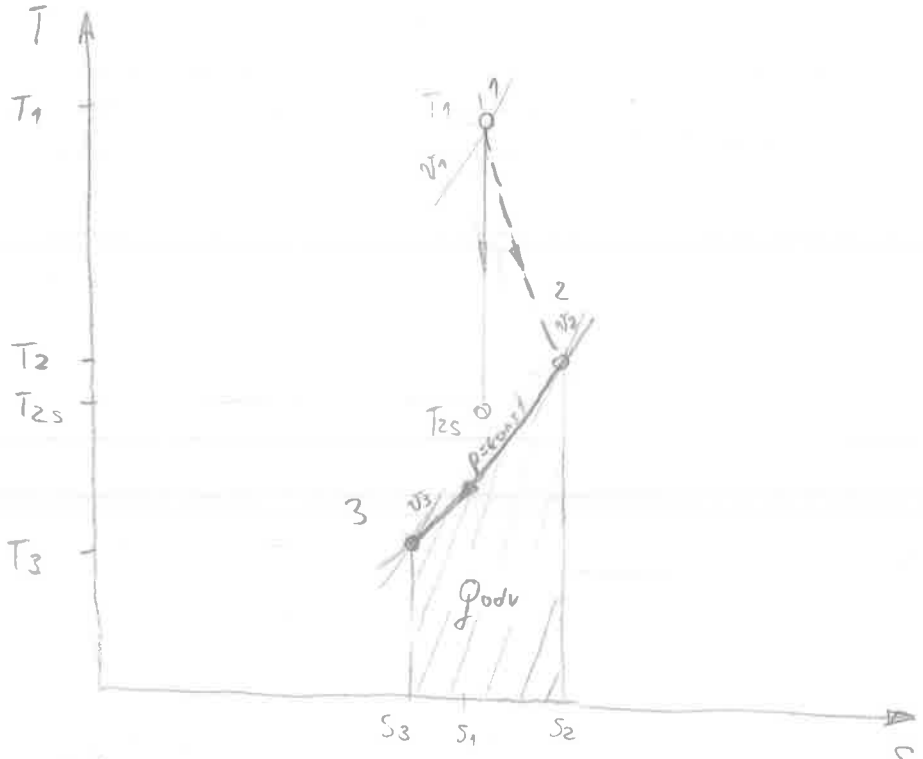
$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2}$

$T_3 < T_2$

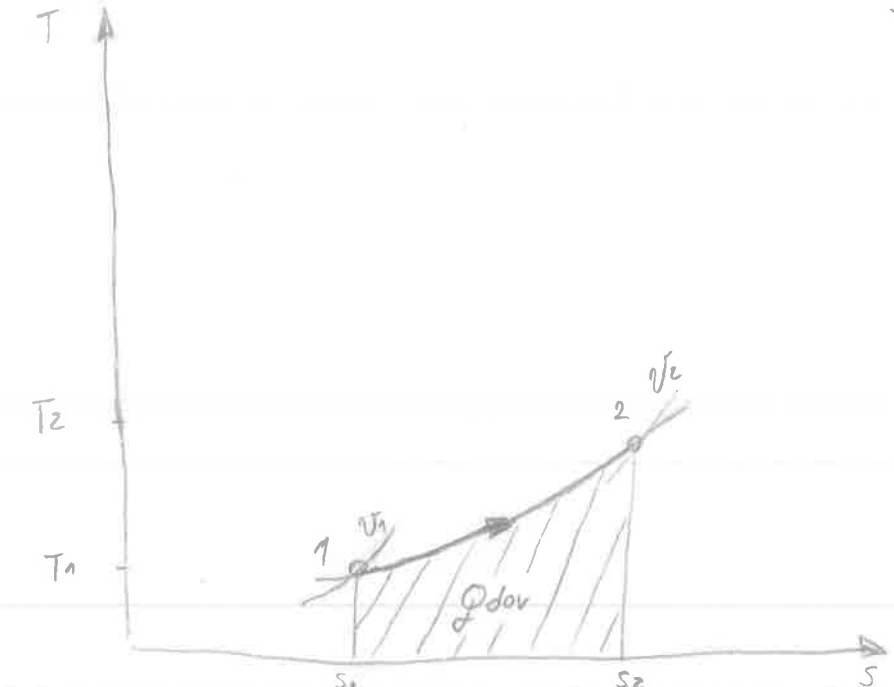
$v_3 < v_2$



dimni plinovi

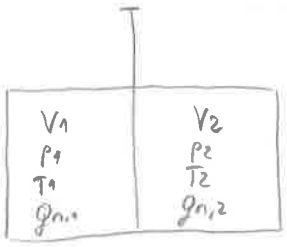


dimni plinovi



voda

(2)



$V_1 = V_2 = 0,5\ V$

$V = 0,5\ m^3$

Smjesa 1

$y_{N_2} = 0,5$

$y_{CO_2} = 0,5$

$T_1 = 15°C$

$p_1 = p_{ok} + p_{MAN,1}$

manometar pritiskuje pretlak

$p_o = 1,01325 + 0,2$

$p_1 = 1,21325\ bar$

$T_1 = 288,15\ K$

smjesa 2

zrak

$T_2 = 20°C$

$p_{MAN,2} = \rho_{Hg,20°C} \cdot g \cdot z$ ← visina stupca tekućine

$\rho_{Hg,20°C}$ → Topl. tablice str. 93

$p_{MAN,2} = 13546 \cdot 9,81 \cdot 250 \times 10^{-3}$

$p_{MAN,2} = 0,332\ bar$

$p_2 = p_{ok} + p_{M,2}$

$p_2 = 1,3455\ bar$

izolirani spremnik $Q_{12} = \emptyset$ $P_{12} = \emptyset$

$$U_2 = T_M \cdot \left(\sum_{i=1}^{2} N_i C_{mv,i} \right) = T_M \cdot (0,01266 \cdot 32,488 + 0,0138 \cdot 29,073)$$

$$N_1 = \frac{p_1 \cdot V_1}{R_m T_1} = \frac{1,21325 \times 10^5 \cdot 0,25}{8314 \cdot 288,15}$$

$$U_1 = N_1 C_{mv,1} \cdot T_1 + N_2 C_{mv,2} \cdot T_2$$

$N_1 = 0,01266\ kmol$

$$U_1 = 0,01266 \cdot 32,488 \cdot 288,15 + 0,0138 \cdot 29,073 \cdot 293,15$$

$$N_2 = \frac{p_2 \cdot V_2}{R_m T_2} = \frac{1,3455 \times 10^5 \cdot 0,25}{8314 \cdot 293,15}$$

$U_1 = 236,13\ kJ$

$N_2 = 0,0138\ kmol$

$$T_M = \frac{\sum_{i=1}^{2} N_i C_{mv,i} \cdot T_i}{\sum_{i=1}^{2} N_i C_{mv,i}} = \frac{236,13}{0,8125}$$

$$C_{mv,1} = \sum_{i=1}^{2} y_i C_{mv,i} = 0,5 \cdot 29,115 + 0,5 \cdot 35,86$$

$C_{mv,1} = 32,488\ kJ/kmolK$

$C_{mv,2} = 29,073\ kJ/kmolK$

$T_M = 290,62\ K \doteq 17,47°C$

$N_M = N_1 + N_2$

$N_M = 0,01266 + 0,0138$

$N_M = 0,02646\ kmol$

$$p_M = \frac{N_M \cdot R_m \cdot T_M}{V} = \frac{0,02646 \cdot 8314 \cdot 290,62}{0,5}$$

$p_M = 1,279\ bar$

$p_{MAN,M} = 1,279 - 1,01325$

$p_{MAN,M} = 0,265\ bar$

* Napomena: nemojte se zbuniti zbog oznaka. U_1 obuhvaća smjese 1 i 2, pa otuda N_1 i N_2 tamo. U_2 predstavlja miješavinu (stanje nakon miješanja smjesa)

③

Stanje ①

mokra para

$p_1 = 5\,bar$

$T_1 = 151,84°C$

$V_1 = 0,1\,m^3$

$V_1' = 0,03 \cdot V_1$

$V_1' = 0,003\,m^3$

$V_1'' = V_1 - V_1'$

$V_1'' = 0,097\,m^3$

$$x = \frac{m''}{m' + m''}$$

$$m'' = \frac{V_1''}{v_1''} = \frac{0,097}{0,3748}$$

$$m' = \frac{V_1'}{v_1'} = \frac{0,003}{0,0010925}$$

$m'' = 0,259\,kg$

$m' = 2,746\,kg$

$m = m' + m''$

$m = 3,005\,kg$

$$x = \frac{0,259}{2,746 + 0,259}$$

$x_1 = 0,086\,kg/kg$

$x_1 \approx 8,6\%$

$h_1 = h' + x_1 r_1$

$s_1 = s' + x_1 (s'' - s')$

$h_1 = 640,19 + 0,086 \cdot 2107,92$

$h_1 = 821,47\,kJ/kg$

$s_1 = 1,8606 + 0,086 \cdot (6,8206 - 1,8606)$

$s_1 = 2,287\,kJ/kgK$

$$v_1 = \frac{V_1}{m}$$

$v_1 = 0,0333\,m^3/kg$

izotermna ekspanzija →

Stanje ②

pregrijana para

$p_2 = 1\,bar$

$T_2 = 151,84°C$

interpolacija

$h_2 = 2776,59 + \frac{2776,42 - 2776,59}{160 - 150}(151,84 - 15$

$h_2 = 2780,24\,kJ/kg$

$s_2 = \ldots = 7,623\,kJ/kgK$

$v_2 = \ldots = 1,9454\,m^3/kg$

$V_2 = v_2 \cdot m$

$V_2 = 1,9454 \cdot 3,005$

$V_2 = 5,846\,m^3$

$W_{12} = m\left(T(s_2 - s_1) - (h_2 - h_1) + (p_2 v_2 - p_1 v_1\right.$

$W_{12} = 3,005\left(424,99(7,623 - 2,287) - (2780,24 - 821,47)\right.$
$\left. + (1 \cdot 10^2 \cdot 1,9454 - 5 \cdot 10^2 \cdot 0,0333)\right)$

$W_{12} = 1463,03\,kJ$

$Q_{12} = mT(s_2 - s_1) = 3,005 \cdot 424,99 \cdot (7,623 - 2,287)$

$\boxed{Q_{12} = 6814,58\,kJ}$

$U_1 = m(h_1 - p_1 v_1) = 3,005(821,47 - 5 \cdot 10^2 \cdot 0,0333)$

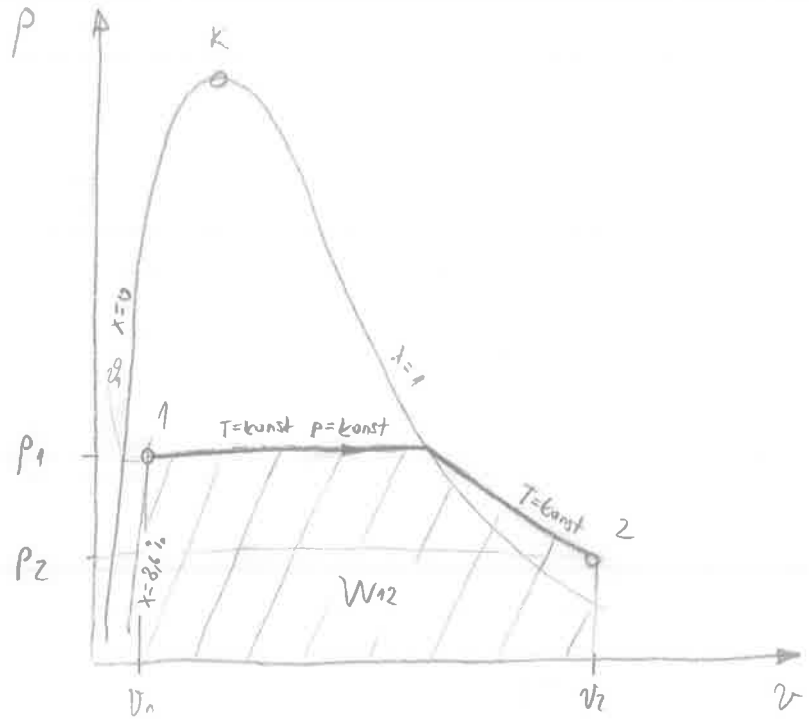
$U_1 = 2418,484\,kJ$

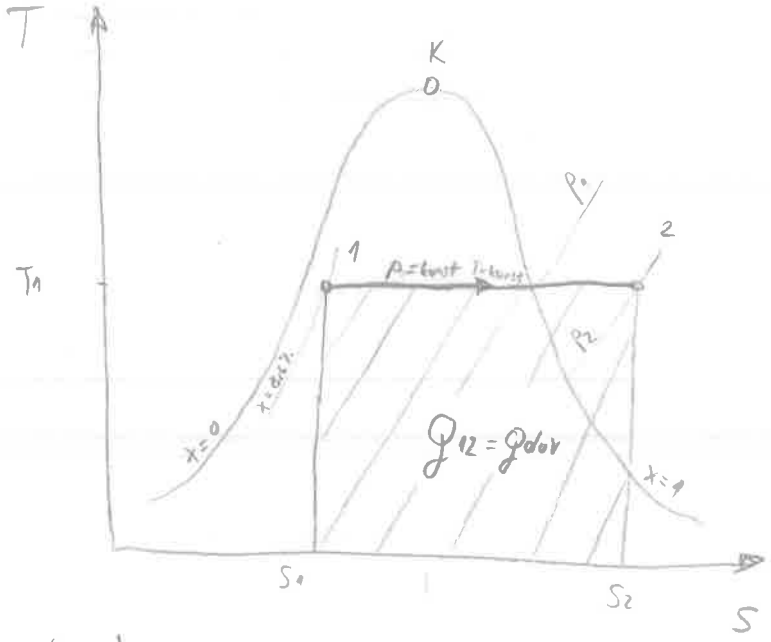
$U_2 = m(h_2 - p_2 v_2) = 3,005(2780,24 - 10^2 \cdot 1,9454)$

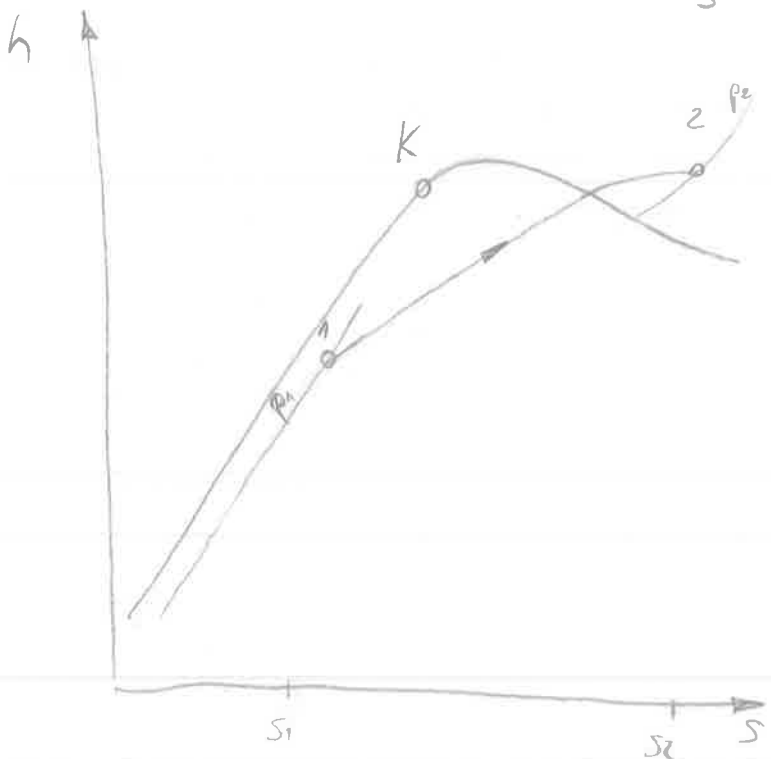
$U_2 = 7770,03\,kJ$

$W_{12} = Q_{12} - U_2 + U_1$

$\boxed{W_{12} = 1463,03\,kJ}$ ✓


p
K
x=0
x=1
1
T=konst p=konst
p1
T=konst
2
p2
W12
v1
v2
v


T
K
p1
2
1
p=konst T=konst
T1
p2
x=0
x=1
Q12 = Qdov
S1
S2
S


h
K
2
p2
1
p1
S1
S2
S

(4) $d_u/d_v = 106/114\ mm$

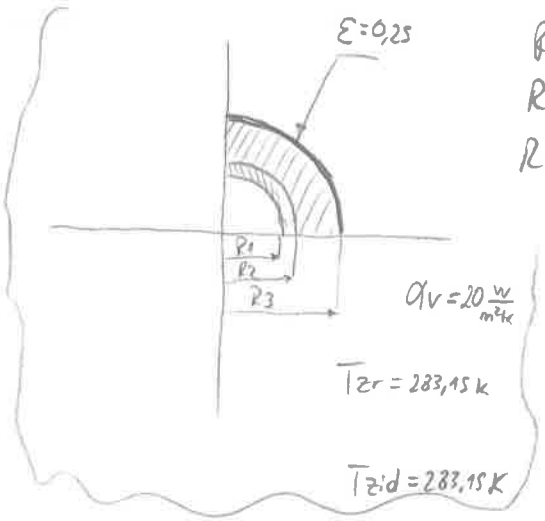
$L = 25\ m$

pregrijana para

$p = 10\ bar$

$\vartheta = 300°C$

$q_m = \frac{2500}{3600}\ kg/s$



$R_1 = 0,053\ mm$

$R_2 = 0,057\ mm$

$R_3 = 0,117\ mm$

$\lambda_i = 0,07\ W/mK$

α_u - računanje

tablice 46. str $p = 10\ bar$, $\vartheta = 300°C$

$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\mu}$

$\rho = 3,8760\ kg/m^3$

$\lambda = 0,04496\ W/mK$

$\mu = 20,18 \times 10^{-6}\ Pas$

$Pr = 0,96088$

$q_{v,pp} = q_{m,pp} / \rho$

$q_{v,pp} = \frac{2500}{3600 \cdot 3,8760}$

$q_{v,pp} = 0,1792\ m^3/s$

$Re = \frac{20,3 \cdot 0,106 \cdot 3,8760}{20,18 \times 10^{-6}}$

$Re = 413\,299,15$

$w = q_{v,pp} / A_u$

$A_u = R_1^2 \pi \Rightarrow A_u = 0,008825\ m^2$

$w = \frac{0,1792}{0,008825}$

$w = 20,306\ m/s \approx 20,3\ m/s$

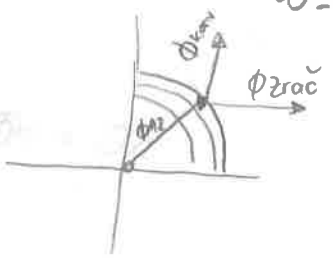
$40 \cdot d_u = 4,24\ m < 15\ m$ izobraženo turbulentno

$Nu = \frac{0,0398 \cdot 0,96088 \cdot 413299,15^{0,75}}{1 + 1,74 \cdot 413299,15^{-0,125}(0,96088 - 1)}$

$Nu = 631,92$

$\frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \alpha_u = \frac{631,92 \cdot 0,04496}{0,106}$

$\alpha_u = 268,03\ W/m^2K$



$\Phi_{12} = \Phi_{konv} + \Phi_{zrač}$

$\Phi_{12} = \frac{2\pi L (\vartheta_1 - \vartheta_{z1})}{\frac{1}{R_1 \alpha_u} + \frac{1}{s\lambda} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{2\lambda_i} \ln\frac{R_3}{R_2}}$

$\Phi_{konv} = 2\pi L \cdot R_3 (\vartheta_{st} - \vartheta_{zr}) \cdot \alpha_v$

$w = 0$

$\Phi_{zrač} = 2\pi L \cdot R_3 \cdot \sigma \cdot \varepsilon (T_{st}^4 - T_{zid}^4)$

* Napomena koristiti temperature u kelvinima za solve

$$\frac{2\pi L\,(573{,}15 - T_{st})}{\frac{1}{0{,}053\cdot 268{,}03} + \frac{1}{58}\ln\frac{114}{106} + \frac{1}{0{,}07}\ln\frac{234}{114}} = 2\pi L\cdot 0{,}117\cdot(T_{st} - 283{,}15)\cdot 20 + 2\pi L\cdot 0{,}117\cdot 5{,}67\times10^{-8}\cdot 0{,}25\left(T_{st}^4 - 283{,}15^4\right)$$

$$T_{st} = 293{,}95\,K \triangleq 20{,}8\,^\circ C$$

$$\phi_{12} = \frac{2\pi\cdot 25\cdot(573{,}15 - 293{,}95)}{\frac{1}{0{,}053\cdot 268{,}03} + \frac{1}{58}\ln\frac{114}{106} + \frac{1}{0{,}07}\ln\frac{234}{114}} \Rightarrow \phi_{12} = 4239{,}47\ W$$

$$\vartheta_{st1} = \vartheta_1 - \frac{\phi_{12}}{2\pi\cdot 25}\left(\frac{1}{0{,}053\cdot 268{,}03}\right) = 300 - \frac{4239{,}47}{50\pi}\left(\frac{1}{0{,}053\cdot 268{,}03}\right)$$

$\vartheta_{st1} = 298{,}1\,^\circ C$

$\vartheta_{st2} = 298{,}07\,^\circ C$

$\vartheta_{st3} = 20{,}8\,^\circ C$

Toplinski otpor same izolacije

$$\frac{1}{0{,}07}\ln\frac{234}{114} = 10{,}273\ K/W$$

oslobađanje toplinskog toka

$$-\phi_{12} = q_m\,(h_2 - h_1)$$

$p = 10\,bar$, $\vartheta = 300\,^\circ C$ $\quad h_1 = 3051{,}70\ kJ/kg$ $\quad$ pošto je izobaran proces T_2 iščitavamo također za 10 bar

$$h_2 = h_1 + \frac{\phi_{12}}{q_m}$$

$$h_2 = 3051{,}70 - \frac{4{,}23947}{0{,}6944}$$

$h_2 = 3045{,}6\ kJ/kg$

int. $\quad 280 + \frac{300 - 280}{3051{,}70 - 3008{,}71}(3045{,}6 - 3008{,}71)$

$T_2 = 297{,}16\,^\circ C$

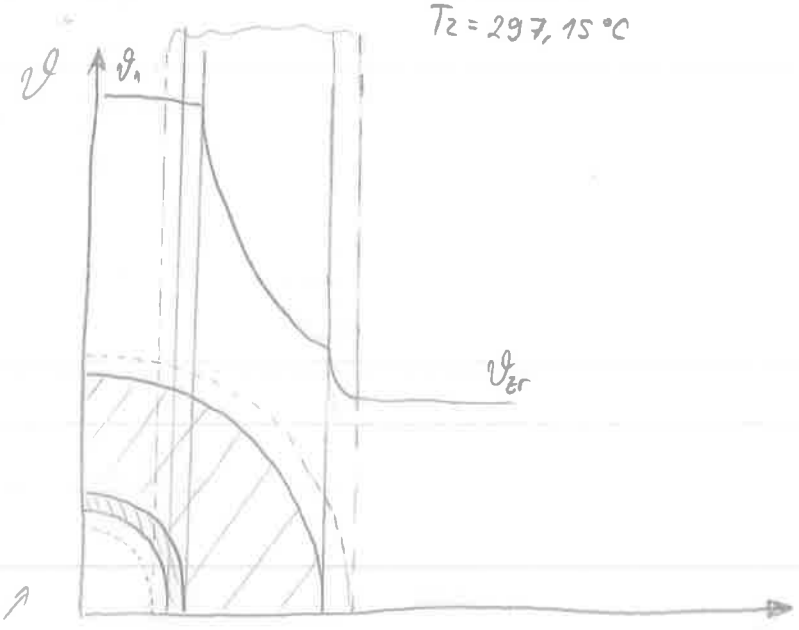
$\boxed{\Delta T = 2{,}84\,^\circ C}$

Lakši način (vjerojatno bi priznali pošto nije 3. zad, a i para se pri višim temp ponaša približno id. plinu)

$$-\phi_{12} = q_m\cdot c_{p,pp}\cdot(T_2 - T_1)$$ ($c_{p,pp}$: 10 bar, 300 °C)

$$-4.23947 = 2{,}6944\cdot 2{,}1508\cdot(T_2 - 300)$$

$T_2 = 297{,}15\,^\circ C$



Nisu tražili ali neka bude

(5) $n = 20$

$d_1/d_2 = 30/36\ mm$

$\dot{m}_{m,w} = \frac{20000}{3600}\ kg/s$

$\vartheta_1' = 25°C$

$\vartheta_1'' = 75°C$

$p = 2\ bar$

$\vartheta_2' = 150°C$

$\vartheta' = 120{,}21°C$

$\alpha_u = 1500\ W/m^2K$

$\pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta'} = \frac{25-75}{25-120{,}21}$

$\pi_1 = 0{,}5252$

$\pi_3 = 0 \qquad C_2 \to \infty$

$\pi_2 = -\ln(1-\pi_1)$

$\pi_2 = 0{,}7449$

$\Phi = C_1(\vartheta_1'' - \vartheta_1') = \dot{m}_{m,p}(h_{pp} - h_{vk})$

$C_1 = \dot{m}_{m,w} \cdot c_w = \frac{20000}{3600} \cdot 4187$

$C_1 = 23261{,}11$

$\dot{m}_{m,p} = \frac{C_1(\vartheta_1'' - \vartheta_1')}{h_{pp} - h_{vk}} = \frac{23261{,}11(75-25)}{(2769{,}09 - 504{,}68)\times 10^3}$

$h_{pp} = 2769{,}09\ kJ/kg$ topl. tablice

$h_{vk} = 504{,}68\ kJ/kg$

$\boxed{\dot{m}_{m,p} = 0{,}5136\ kg/s}$

$L = \frac{A_u}{d_1 \pi n} = \frac{11{,}551}{0{,}03\pi \cdot 20} = 6{,}128\ m$

$\frac{\pi_2 \cdot C_1}{\alpha_u} = A_u = \frac{0{,}7449 \cdot 23261{,}11}{1500}$

$A_u = 11{,}551\ m^2$

$\boxed{L = 6{,}128\ m}$

$\Phi = 1163055{,}55\ W$

$\Phi = 1{,}163\ MW$

b) $\frac{\Phi}{2} = 581{,}53\ kW$

$581{,}53 = \dot{m}_{m,w} \cdot c_w \cdot (\vartheta^* - \vartheta')$

$581{,}53 = \frac{20000}{3600} \cdot 4{,}187(\vartheta^* - 25)$

$\vartheta^* = 50°C$

$\pi_1^* = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1^*}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = \frac{25-50}{25-120{,}21}$

$\pi_1^* = 0{,}2626$

$\pi_2^* = -\ln(1-\pi_1^*)$

$\pi_2^* = 0{,}3046$

$\frac{\pi_2^* \cdot C_1}{\alpha_u} = A_u^*$

$A_u^* = 4{,}724\ m^2$

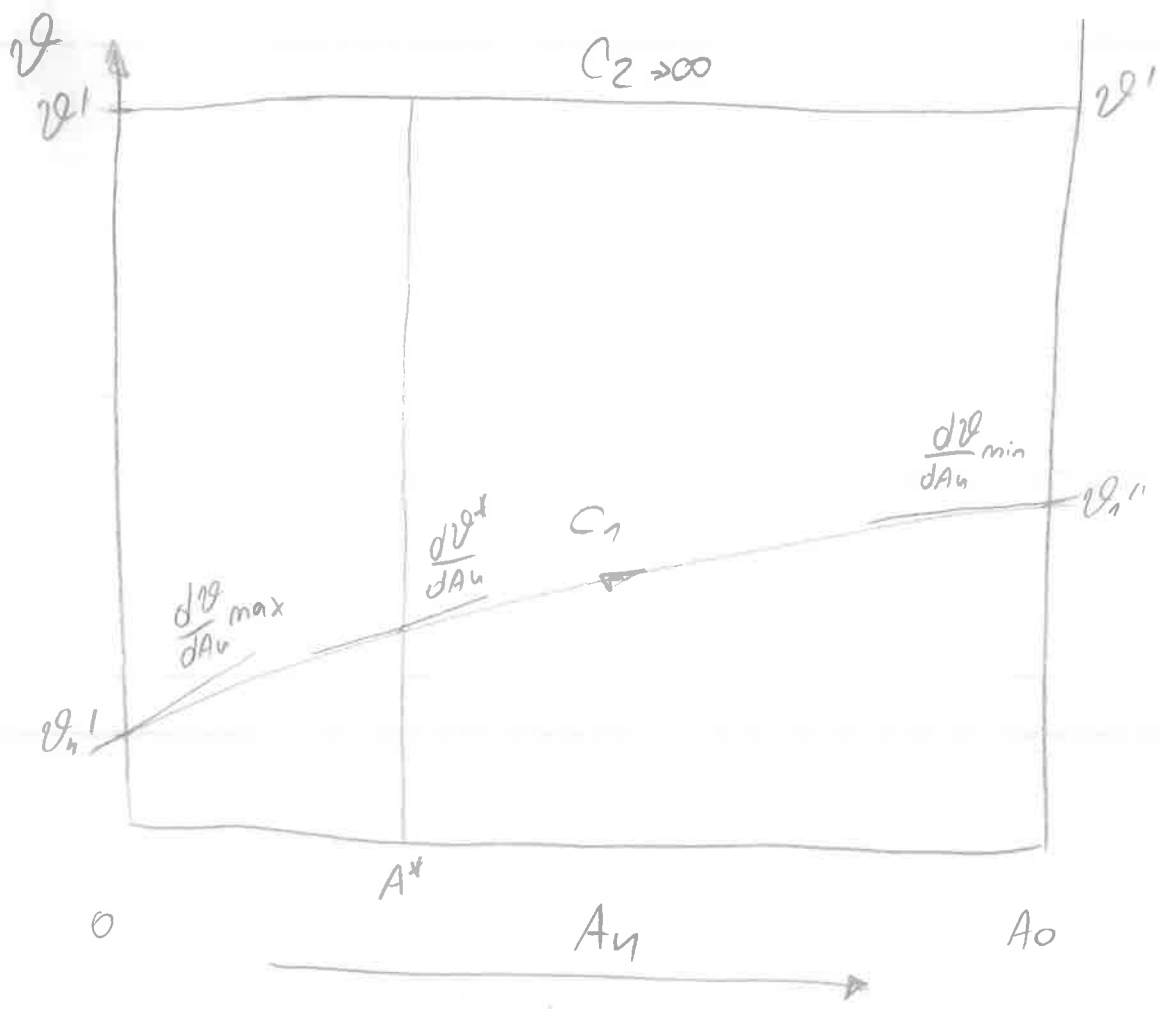
$L^* = \frac{A_u^*}{d_1 \pi n} = \frac{4{,}724}{0{,}03\pi\ 20}$

$\boxed{L^* = 2{,}5\ m}$

c) $\frac{d\vartheta_1}{dA_u}^* = \frac{q_u(\vartheta' - \vartheta_1')}{C_1} = \frac{1500 \cdot (120{,}21 - 50)}{23261{,}11} \Rightarrow \frac{d\vartheta_1^*}{dA_u} = 4{,}528 \; K/m^2$

$\frac{d\vartheta_1}{dA_u}_{max} = \frac{q_u(\vartheta' - \vartheta_1')}{C_1} = \frac{1500(120{,}21 - 25)}{23261{,}11} \Rightarrow \frac{d\vartheta_1}{dA_u}_{max} = 6{,}14 \; K/m^2$

$\frac{d\vartheta_1}{dA_u}_{min} = \frac{q_u(\vartheta' - \vartheta_1'')}{C_1} = \frac{1500(120{,}21 - 75)}{23261{,}11} \Rightarrow \frac{d\vartheta_1}{dA_u}_{min} = 2{,}92 \; K/m^2$



(6) Propan C_3H_8 Zrak

$\vartheta_1 = 100°C$ $\vartheta_2 = 200°C$

$\dot{V}_{v,G} = \frac{5}{3600}\ m^3/s$

$\dot{V}_{v,G} = 0,0013889\ m^3/s$

$\dot{n}_{n,G} = \frac{p_G \cdot \dot{V}_{v,G}}{R_m \cdot T_G} = \frac{10^5 \cdot 0,0013889}{8314 \cdot 373,15}$

$\dot{n}_{n,G} = 4,477 \times 10^{-5}\ kmol$

$\lambda = 1,1$

$1\,kmol\ C_3H_8 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) kmol\ O_2 \longrightarrow 3\,kmol\ CO_2 + \frac{8}{2}\,kmol\ H_2O$

$n_{CO_2} = 3\ kmol/kmol_G$

$n_{H_2O} = 4\ kmol/kmol_G$

$O_{min} = 5\ kmol/kmol_G$ $\quad z_{stv} = \lambda \frac{O_{min}}{0,21} = 1,1 \cdot \frac{5}{0,21}$

$z_{stv} = 26,19\ kmol/kmol_G$

$z_{stv} = \frac{\dot{n}_{n,zr}}{\dot{n}_{n,G}}$

$26,19 = \frac{\dot{n}_{n,zr}}{4,477 \times 10^{-5}}$

$\dot{n}_{n,zr} = 1,1725 \times 10^{-3}\ kmol$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) O_{min} = 0,1 \cdot 5 = 0,5\ kmol/kmol_G$

$n_{N_2} = 0,79\, z_{stv} = 20,69\ kmol/kmol_G$

Mješalište

$$T_M = \frac{\sum_{i=1}^{2} \dot{n}_{n,i}\, C_{mp,i}\, T_i}{\sum_{i=1}^{2} \dot{n}_{n,i}\, C_{mp,i}}$$

$$T_M = \frac{1,1725 \times 10^{-3} \cdot 29,073 \cdot 473,15 + 4,477 \times 10^{-5} \cdot 68,329 \cdot 373,15}{1,1725 \times 10^{-3} \cdot 29,073 + 4,477 \times 10^{-5} \cdot 68,329} \Rightarrow T_M = 464,91K \triangleq 191,76°$$

$T_M \approx 191,8°C$

	n_i	$[C_{mp,i}]_0^{100}$	$n_i [C_{mp,i}]_0^{100}$
CO_2	3	38,112	114,336
H_2O	4	28,935	115,74
O_2	0,5	29,538	14,769
N_2	20,69	29,144	602,99
Σ			847,835

$\dot{H}_2 = \dot{n}_{n,G} \Sigma n_i [C_{mp,i}]_0^{100} \cdot \vartheta_{h1}$

$\dot{H}_1 = \dot{n}_{n,G} \left[[C_{mp,G}]_0^{191,8°C} \cdot \vartheta_G + z_{stv} \cdot [C_{mp,z}]_0^{191,8°C} \cdot \vartheta_z \right]$

$\Delta E_{ten} = -\dot{n}_{n,G} \cdot \Delta H_{md}$

$\Delta H_{mol} = 2044 \times 10^3\ kJ/kmol_G$

$$\vartheta_{n1} = \frac{\Delta H_{md} + [C_{mp,c}]_0^{191,8°C} \cdot \vartheta_6 + \Sigma_{stv} [C_{mp,z}]_0^{191,8°C} \cdot \vartheta_z}{\Sigma C_{mp,i}\, n_i}$$

interpolacija

$$100 = \frac{2044 \times 10^3 + 88,05 \cdot 191,8 + 26,19 \cdot 29,29 \cdot 191,8 - \left|\frac{\Phi}{\vartheta_{n6}}\right|}{847,835}$$

$$[C_{mp,6}]_0^{191,8°C} = 88,05 \frac{kJ}{kmol\,K}$$

$$[C_{mp,z}]_0^{191,8°C} = 29,29 \frac{kJ}{kmol}$$

$$\left|\frac{\Phi}{\vartheta_{n,6}}\right| = 2123235,248 \; kJ/kmol6$$

$$\Phi_{12} = -2123235,248 \cdot 4,477 \times 10^{-5}$$

$$\Phi_{12} = -95,06 \; kW$$

$$\vartheta_{v,z} = \frac{\vartheta_{n,z} \cdot R_m \cdot T_z}{p}$$

$$\vartheta_{v,z} = \frac{1,1725 \times 10^{-3} \cdot 8314 \cdot 473,15}{10^5} = 0,046 \; m^3/s$$

$$\boxed{\vartheta_{v,z} = 166,04 \; m^3/h}$$

$$n_w = n_{H2O} = 4 \; kmol/kmol6$$

$$\vartheta_{n,p} = n_{H2O} \cdot \vartheta_{n,6}$$

$$\vartheta_{n,p} = 4 \cdot 4,477 \times 10^{-5}$$

$$\vartheta_{n,p} = 1,8 \times 10^{-4} \; kmol/s$$

$$\vartheta_{n,p} = \vartheta_{m,p} / M$$

$$11,8 \times 10^{-4} \cdot 18,02 = \vartheta_{m,p}$$

$$\vartheta_{m,p} = 3,2436 \times 10^{-3} \; kg/s$$

$$\vartheta_{m,p} = 11,677 \; kg/h$$

$$y_{H2O} = \frac{n_{H2O}}{\Sigma n_i} = \frac{4}{3+4+0,5+20,69}$$

$$y_{H2O} = 0,142 \; kmol/kmol$$

$$p'_{H2O} = y_{H2O} \cdot p$$

$$p'_{H2O} = 0,142 \cdot 1$$

$$\boxed{p'_{H2O} = 0,1426 \; bar}$$

22

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku, B GRUPA

Zagreb, 27. lipnja 2017.

1. ZADATAK

Desnokretni se kružni proces odvija na sljedeći način:
1 - 2 Politropska kompresija (n = 0,8)
2 – 3 Izobarno dovođenje topline
3 – 1 Izentropska ekspanzija

Proces se izvodi s 4 kg zraka, a poznate su veličine $\vartheta_2 = 20$ °C, $V_2 = 1{,}4$ m^3 i $\vartheta_3 = 120$ °C.

Potrebno je izračunati neto rad procesa i termički stupanj djelovanja procesa.

Proces prikazati u *p,v*- i *T,s*- dijagramu! U *p,v*- dijagramu potrebno je ucrtati izoterme u svakoj točki procesa, a u *T,s*- dijagramu izohore i izobare u svakoj točki procesa.

2. ZADATAK

U mješalište ulaze dvije plinske struje. Prva struja je kisik tlaka 5 bar i temperature 70 °C. Druga struja je zrak tlaka 5,5 bar i temperature 85 °C koji dostrujava brzinom 5 m/s. Obje struje se dovode u mješalište kroz cijevi unutarnjeg promjera 70 mm. Mješavina tlaka 4 bar odvodi se iz mješališta kroz cijev unutarnjeg promjera 125 mm.

Zanemarujući kinetičke energije struja, treba izračunati:

a) Brzinu kojom treba dostrujavati struja kisika da bi molni udio kisika u mješavini bio 50 %

b) Koliki je izmijenjeni toplinski tok kroz stijenke mješališta ako je izlazna brzina mješavine 4 m/s.

3. ZADATAK

Parni kotao proizvodi pregrijanu vodenu paru stanja 60 bar i 380 °C koja u prvom stupnju turbine ekspandira do tlaka 3 bar. Para se zatim kroz cijevi vraća u kotao, gdje joj se u međupregrijaču dovodi 500 kJ/kg topline i potom u drugom dijelu turbine ekspandira do tlaka 0,06 bar. Iz kondenzatora izlazi voda temperature 30 °C i vraća se u kotao.

Izračunajte termički stupanj djelovanja procesa! Kolika je temperatura pare na izlazu iz međupregrijača?

Proces prikazati u *T,s*- i *h,s*- dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

4. ZADATAK

Između dviju usporednih bliskih stijenki struji zrak temperature 25 °C. Lijeva ploča ($\varepsilon_1 = 0{,}8$) ima temperaturu 100 °C. Desna ploča ($\varepsilon_2 = 0{,}2$) je sa svoje desne (vanjske) strane toplinski potpuno izolirana. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline na lijevoj ploči iznosi 15 W/(m^2·K), a na desnoj 10 W/(m^2·K). Treba izračunati temperaturu desne ploče, gustoću toplinskog toka koji izvana treba dovoditi lijevoj ploči i gustoću toplinskog toka koju zrak odnosi sa sobom.

5. ZADATAK

Protusmjerni je izmjenjivač topline izveden kao snop od 15 čeličnih cijevi promjera 25/30 mm smještenih u plašt. Kroz cijevi struji 0,5 kg/s vode koja se zagrijava od 20 °C na 70 °C. Oko cijevi struji voda koja se hladi za 40 °C. Iznos koeficijenta prijelaza topline oko cijevi iznosi 1100 W/(m^2·K). Temperaturna razlika dviju struja na jednom kraju izmjenjivača tri puta je veća od temperaturne razlike na drugom kraju izmjenjivača.

Potrebno je izračunati izmijenjeni toplinski tok i površinu izmjenjivača topline. Raspored temperatura struja prikazati u ϑ,*A*- dijagramu!

6. ZADATAK

Plin butan (C_4H_{10}), volumenskog protoka 3 m^3/h, ulazi u ložište s temperaturom 0 °C, a zrak s temperaturom 150 °C. Izgaranje je potpuno, a cijeli proces teče na tlaku 1 bar.

Potrebno je izračunati količinski protok vlažnih dimnih plinova ako ventilator dobavlja u ložište 155 m^3/h zraka.

Koliko se toplinskog toka dobiva pri hlađenju od 900 °C na 300 °C? Koliki je volumenski protok dimnih plinova pri temperaturi 900 °C?

Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima.

27.6.2017

1. $m_{ZR} = 4\,kg$

$n = 0{,}8$ — POLITROPSKA EKSPANZIJA (1 → 2)

IZOBARNO ODVAJANJE TOPLINE (2 → 3)

$\varkappa = 1{,}4$ — IZENTROPSKA EKSPANZIJA (3 → 1)

$T_1 = 336{,}18\,K$

$\vartheta_2 = 20^\circ C$

$V_2 = 1{,}4\,m^3$

$\vartheta_3 = 120^\circ C$

$p_3 = 2{,}405\,bar$

$\frac{V_1}{V_3} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\varkappa-1}}$

$V_1 = V_3 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\varkappa-1}}$ (I)

$W_{1-2} = \frac{m_{ZR} \cdot R_{ZR} \cdot T_1}{n-1}\left[1 - \frac{T_2}{T_1}\right]$

$p_2 = \frac{m_{ZR} \cdot T_2 \cdot R_{ZR}}{V_2}$

$V_3 = \frac{m_{ZR} \cdot T_3 \cdot R_{ZR}}{p_3}$

$W_{1-2} = \frac{4 \cdot 287{,}1 \cdot 336{,}18}{0{,}8-1}\left[1 - \frac{293{,}15}{336{,}18}\right]$

$p_2 = \frac{4 \cdot 293{,}15 \cdot 287{,}1}{1{,}4}$

$V_3 = \frac{4 \cdot 393{,}15 \cdot 287{,}1}{2{,}405 \cdot 10^5}$

$W_{1-2} = -247{,}078\,kJ$

$p_2 = 2{,}405\,bar$

$V_3 = 1{,}8773\,m^3$

$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}$ (II)

$W_{3-1} = \frac{p_3 \cdot V_3}{\varkappa - 1}\left[1 - \frac{T_1}{T_3}\right]$

$W_{neto} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-1}$

IZRAZIMO V_1 , IZJEDNAČIMO S (I)

$W_{3-1} = \frac{2{,}405 \cdot 10^5 \cdot 1{,}8773}{1{,}4-1}\left[1 - \frac{336{,}18}{393{,}15}\right]$

$W_{neto} = -247{,}078 + 114{,}84 + 163{,}56$

$V_3 \cdot \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{1}{\varkappa-1}} = \frac{V_2}{\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{n-1}}}$

$W_{3-1} = 163{,}56\,kJ$

$W_{neto} = 31{,}322\,kJ$

SOLVE

$T_1 = 336{,}18\,K$

$W_{2-3} = m_{ZR} \cdot R_{ZR} \cdot (T_3 - T_2)$

$W_{2-3} = 4 \cdot 287{,}1\,(393{,}15 - 293{,}15)$

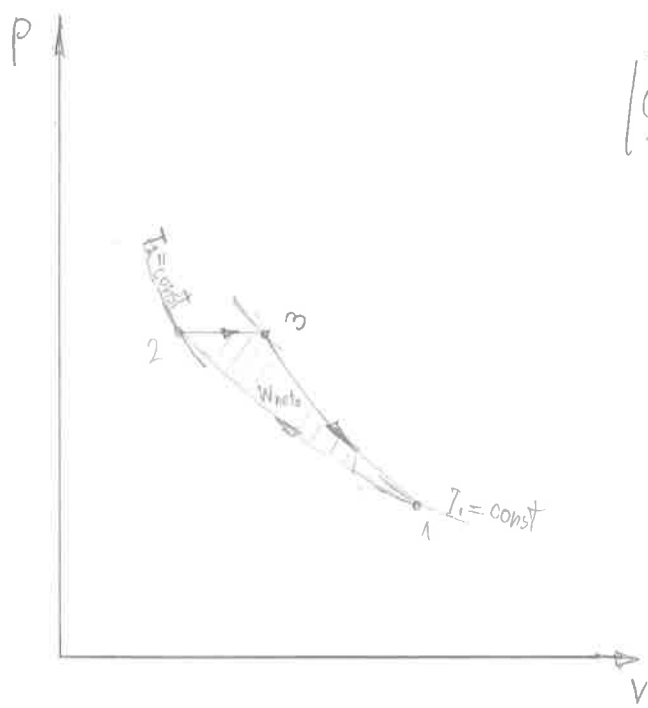
$W_{2-3} = 114{,}84\,kJ$

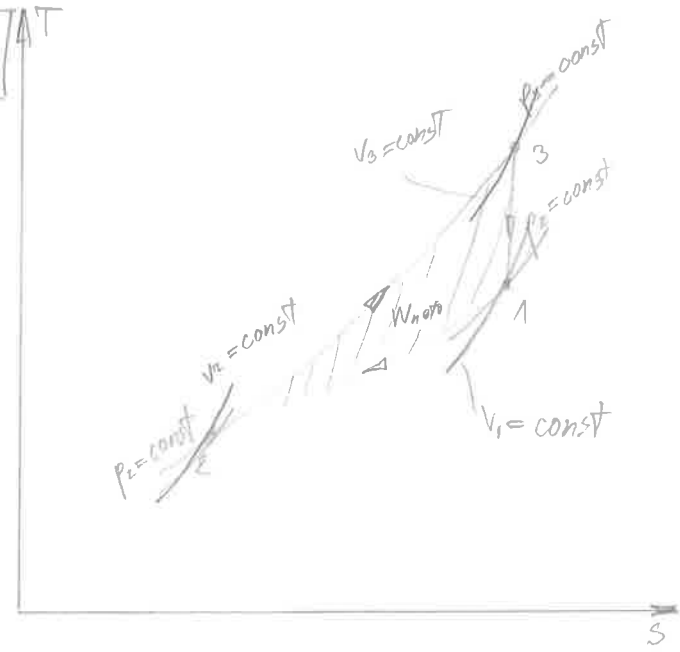
$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{dov}} = \frac{31{,}322}{402} = 7{,}8\,\%$

$Q_{2-3} = Q_{dov} = m_{ZR} \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2)$

$Q_{2-3} = 4 \cdot 1005 \cdot (393{,}15 - 293{,}15)$

$Q_{2-3} = 402\,kJ$





(2.)

STRUJA TVARI	TLAK	TEMPERATURA	VOLUMNI PROTOK	KOLIČINSKI PROTOK
KISIK	$p_1 = 5\,bar$	$\vartheta_1 = 70°C$	$q_{v1} = 0{,}0115\ \frac{m^3}{s}$	$q_{n1} = 2{,}0612 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$
ZRAK	$p_2 = 5{,}5\,bar$	$\vartheta_2 = 85°C$	$q_{v2} = 0{,}01924\ \frac{m^3}{s}$	$q_{n2} = 3{,}5538 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$
MJEŠAVINA	$p_m = 4\,bar$	$\vartheta_m = 147{,}5°C$	$q_{v,m} = 0{,}04909\ \frac{m^3}{s}$	$q_{n,m} = 5{,}615 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$

$w_2 = 5\,m/s$

$d = 70\,mm$

$d_m = 125\,mm$

$q_{v2} = w_2 \cdot A$

$q_{v2} = 5 \cdot \frac{0{,}07^2}{4} \cdot \pi$

$\boxed{q_{v2} = 0{,}01924\ m^3/s}$

$q_{n2} = \frac{p_2 \cdot q_{v2}}{T_2 \cdot R_m}$

$q_{n2} = \frac{5{,}5 \cdot 10^5 \cdot 0{,}01924}{358{,}15 \cdot 8314}$

$\boxed{q_{n2} = 3{,}5538 \cdot 10^{-3}\ kmol/s}$

$w_m = 4\,m/s$

$q_{v,m} = w_m \cdot A_m$

$q_{vm} = 4 \cdot \frac{0{,}125^2}{4} \cdot \pi$

$q_{vm} = 0{,}04909\ m^3/s$

(1) $q_{n1} + 0{,}21\, q_{n2} = 0{,}5\, q_{n,m}$ (—)

(2) $\cdot\ 0{,}79\, q_{n2} = 0{,}5\, q_{n,m}$

$q_{n1} = 0{,}58\, q_{n2}$

$q_{n1} = 0{,}58 \cdot 3{,}5538 \cdot 10^{-3}$

$\boxed{q_{n1} = 2{,}0612 \cdot 10^{-3}\ kmol/s}$

$q_{n,m} = q_{n1} + q_{n2}$

$\boxed{q_{n,m} = 5{,}615 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}}$

$q_{v1} = \frac{q_{n1} \cdot R_m \cdot T_1}{p_1}$

$q_{v1} = \frac{2{,}0612 \cdot 10^{-3} \cdot 8314 \cdot 343{,}15}{5 \cdot 10^5}$

$\boxed{q_{v1} = 0{,}0115\ m^3/s} \Rightarrow w_1 = \frac{q_{v1}}{A} = \frac{0{,}0115}{\frac{0{,}07^2}{4} \cdot \pi} = 2{,}99\ m/s$

$\boxed{T_m = \frac{p_m \cdot q_{v,m}}{R_m \cdot q_{n,m}} = \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 0{,}04909}{8314 \cdot 5{,}615 \cdot 10^{-3}} = 420{,}62\,K}$

$\Phi_{I-II} = T_m \cdot \sum q_{n,i} \cdot C_{mp,i} - \sum q_{ni} \cdot C_{mp,i} \cdot T_i$

$\Phi_{I-II} = T_m \cdot (q_{n1} \cdot C_{mp1} + q_{n2} \cdot C_{mp2}) - (q_{n1} \cdot C_{mp1} \cdot t_1 - q_{n2} \cdot C_{mp2} \cdot t_2$

(0°C, 0°C, 0°C, 0°C)

$\boxed{\Phi_{I-II} = 11{,}129\,kW}$

3.

1 IZENTROPSKA EKSPANZIJA — 2 IZOBARNO DOVOĐENJE TOPLINE ($q_{2-3} = 500\,kJ/kg$) — 3 IZENTROPSKA EKSPANZIJA — 4

$p_1 = 60\,bar$

$\vartheta_1 = 380°C$

$h_1 = 3126{,}1\,kJ/kg$

$s_1 = 6{,}4645\,kJ/kgK$

$p_2 = 3\,bar$

$s_2 = s_1 = 6{,}4645\,kJ/kgK$

$x_2 = \frac{s_2 - s_2'}{s_2'' - s_2'}$

$x_2 = \frac{6{,}4645 - 1{,}6718}{6{,}9916 - 1{,}6718}$

$x_2 = 0{,}9009$

$h_2 = h_2' + x_2 \cdot (h_2'' - h_2')$

$h_2 = 561{,}46 + 0{,}9009 \cdot (2724{,}89 - 561{,}46)$

$h_2 = 2510{,}49\,kJ/kg$

$p_3 = 3\,bar$

$q_{2-3} = h_3 - h_2$

$h_3 = q_{2-3} + h_2$

$h_3 = 500 + 2510{,}49$

$h_3 = 3010{,}49\,kJ/kg$

$\vartheta_3 = 271°C$

$s_3 = 7{,}5975\,kJ/kgK$

$p_4 = 0{,}06\,bar$

$s_4 = s_3 = 7{,}5975\,kJ/kgK$

$x_4 = \frac{s_4 - s_4'}{s_4'' - s_4'}$

$x_4 = \frac{7{,}5975 - 0{,}5209}{8{,}3291 - 0{,}5209}$

$x_4 = 0{,}9063$

$h_4 = h_4' + x_4 \cdot (h_4'' - h_4')$

$h_4 = 151{,}494 + 0{,}9063 \cdot 2415{,}17$

$h_4 = 2340{,}363\,kJ/kg$

IZOBARNO IZOTERMNA KONDENZACIJA — 5 IZOBARNO ISPARAVANJE — 6 IZENTROPSKA KOMPRESIJA — 7 IZOBARNO ZAGRIJAVANJE — 8

$p_5 = 0{,}06\,bar$

$h_5 = 151{,}494\,kJ/kg$

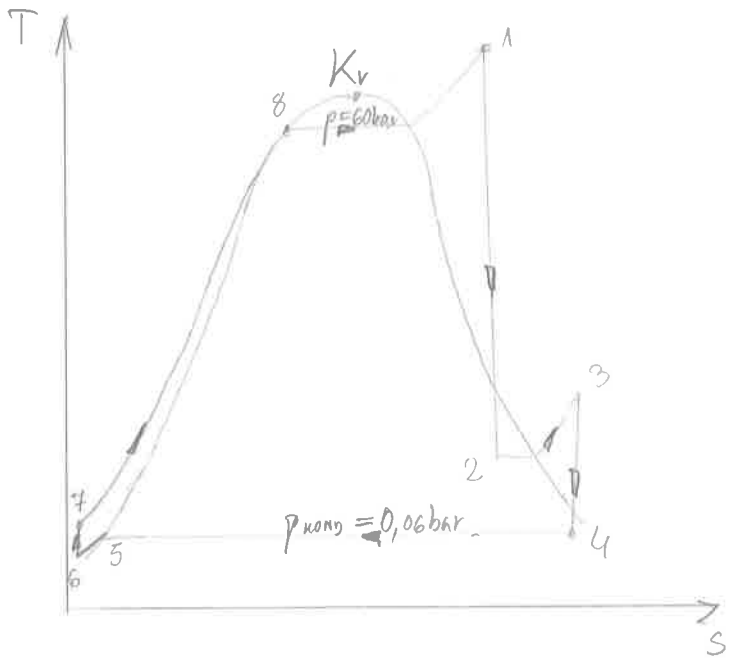
$h_6 = 125{,}76\,kJ/kg$

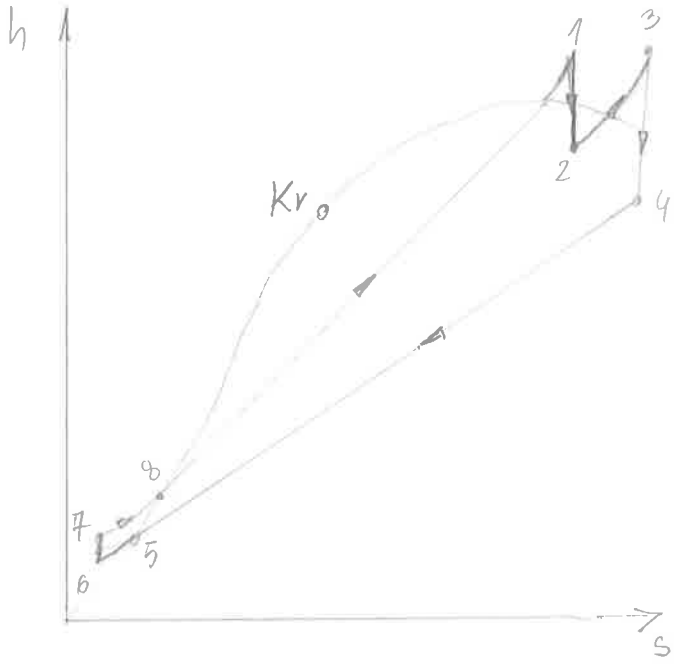
$\vartheta_6 = 30°C$

$h_7 = 131{,}2\,kJ/kg$

$h_8 = 1213{,}73\,kJ/kg$

$$\eta_{PROCESA} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_8 + h_3 - h_2 + h_8 - h_7} = 36{,}79\,\%$$





(4.)

$\vartheta_{ZR} = 25°C$

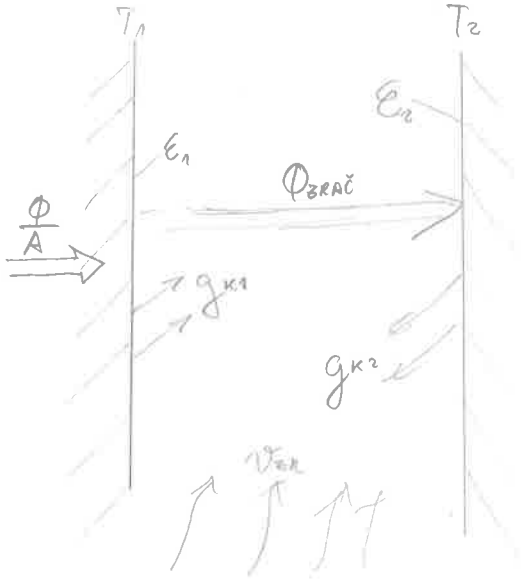
$\varepsilon_1 = 0,8$

$T_1 = 373,15\,K$

$\varepsilon_2 = 0,2$

$\alpha_{K,L} = 15\,W/m^2K$

$\alpha_{K,D} = 10\,W/m^2K$



PRETPOSTAVKA

$T_2 < T_1$ i $T_2 > T_{ZR}$

* kako god postavili pretpostavku dobit ćemo dobar rezultat, samo se moramo držati II. G.S jednom kada postavimo pretpostavku

BILANCA ZA DESNU STIJENKU

$\Phi_{dov} = \Phi_{odv}$

$\Phi_{ZRAČ} = \Phi_{KONV.}$

$$\frac{A \cdot \sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \left[T_1^4 - T_2^4\right] = \alpha_{K,D} \cdot (T_2 - T_{ZR}) \cdot A$$

$$\boxed{T_2 = 309,22\,K}$$

$$\frac{\Phi_{uk}}{A} = \alpha_{K,L} \cdot (T_1 - T_{ZR}) + \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \left[T_1^4 - T_2^4\right]$$

$$\frac{\Phi_{uk}}{A} = 15 \cdot (373,15 - 298,15) + \frac{5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,2} - 1} \left[373,15^4 - 309,22^4\right]$$

$$\boxed{\frac{\Phi_{uk}}{A} = 1235,65\,W/m^2}$$

$$\frac{\Phi}{A} = \alpha_{K,L} \cdot (T_1 - T_{ZR}) + \alpha_{K,D} \cdot (T_2 - T_{ZR})$$

$$\frac{\Phi}{A} = 15 \cdot (373,15 - 298,15) + 10 \cdot (309,22 - 298,15)$$

$$\frac{\Phi}{A} = 1235,65\,W/m^2$$

5.

$n = 15$

25/30

$g_{m,H_2O} = 0,5\ kg/s$

$\vartheta_1' = 20°C$

$\vartheta_1'' = 70°C$

$\Delta\vartheta_2 = 40°C$

$\alpha_v = 1100\ W/m^2K$

$C_1 = g_{m,H_2O} \cdot c_{p(\vartheta=45°)}$

$C_1 = 0,5 \cdot 4179$

$C_1 = 2089,5\ W/K$

$\Phi_{vk} = C_1 \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1')$

$\Phi_{vk} = 2089,5 \cdot (70-20)$

$\boxed{\Phi_{vk} = 104,48\ kW}$

IZMJENJIVANI TOPLINSKI TOK

ZATO JER JE $C_1 \cdot \Delta\vartheta_1 = C_2 \cdot \Delta\vartheta_2$

(1) $\vartheta_2'' - 20 = 3 \cdot (\vartheta_2' - 70)$

(2) $\vartheta_2' - \vartheta_2'' = 40 / \cdot 3$

$\vartheta_2'' - 3\vartheta_2' = -190$ (+)

$3\vartheta_2' - 3\vartheta_2'' = 120$

$-2\vartheta_2'' = -70 \ /:2$

$\boxed{\vartheta_2'' = 35°C}$

$\boxed{\vartheta_2' = 75°C}$

$\Pi_3 = \frac{\Delta\vartheta_2}{\Delta\vartheta_1} \Rightarrow \frac{C_1}{C_2} = \frac{\Delta\vartheta_2}{\Delta\vartheta_1}$

$\Pi_3 = \frac{40}{50} = 0,8$

$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$

$\Pi_1 = \frac{20-70}{20-75}$

$\Pi_1 = 0,9091$

$\Pi_2 = \frac{\ln \frac{1-\Pi_1 \cdot \Pi_3}{1-\Pi_1}}{1-\Pi_3}$

$\Pi_2 = \frac{\ln \frac{1-0,9091 \cdot 0,8}{1-0,9091}}{1-0,8}$

$\Pi_2 = 5,4934$

$k_v = \frac{1}{\frac{R_2}{R_1\alpha_u} + \frac{R_2}{\lambda_{\check{c}}} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\alpha_v}}$

$k_v = \frac{1}{\frac{30}{25 \cdot 1064,6} \cdot \frac{0,015}{58} \ln\frac{30}{25} + \frac{1}{1100}}$

$k_v = 100\ W/m^2K$

$A_v = n \cdot \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4} = 15 \cdot \frac{0,025^2 \cdot \pi}{4}$ VAŽNO

$A_v = 7,3631 \cdot 10^{-3}\ m^2$

$\Pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1}$

$A_v = \frac{\Pi_2 C_1}{k_v}$

$A_v = \frac{5,4934 \cdot 2089,5}{100}$

$A_v = 114,8\ m^2$

$w = \frac{g_{v,H_2O}}{A_v}$ površina unutarnjeg poprečnog presjeka

$g_{v,H_2O} = \frac{g_{m,H_2O}}{\rho_{H_2O}}$ (za 35°C)

$g_{v,H_2O} = \frac{0,5}{993,94} = 5,0305 \cdot 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$

$w = \frac{5,0305 \cdot 10^{-4}}{7,3631 \cdot 10^{-3}} = 0,06832\ m/s$

$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$

$Re = \frac{0,06832 \cdot 0,025}{\frac{719,31 \cdot 10^{-6}}{993,94}}$

$Re = 1360$

$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta}$

$Pe = \frac{w \cdot d_u}{\frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}} = \frac{0,06832 \cdot 0,025}{\frac{0,62329}{993,94 \cdot 4179,2}} = 11\,323$

$Nu = 1,86 \cdot \left(Pe \cdot \frac{d_u}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_0}{\mu_s}\right)^{0,14}$

$\boxed{Nu = 1,86 \cdot \sqrt[3]{11\,323} \cdot}$

$Nu = 41,76$

$\alpha_u = 1064,6\ W/m^2K$

$Nu = 41,76 \quad \alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{41,76 \cdot 0,63735}{0,025} = 1064,6$

$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{uk}}{s \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{d_u^2 \pi}{4}} = \frac{4 \dot{Q}_{uk}}{s \pi^2 n d_u^2} = \frac{4 \cdot 0,5}{973,4 \cdot 15 \cdot 0,025^2 \pi} = 0,2146$

ZADATAK JE KRIVO ZADAN, FALI MU PODATAK STOGA SE UZIMA APROKSIMACIJA $Nu = 1,86\sqrt[3]{11323}$

(6.)

C_4H_{10}

$\dot{V}_{n,G} = 8{,}3333 \cdot 10^{-4}\ m^3/s$

$\vartheta_{ZR} = 150°C, \quad \vartheta_G = 0°C$

$p_n = 1\ bar$

$\dot{V}_{n,ZR} = 155\ m^3/h = 0{,}0431\ m^3/s$

$\vartheta_{dp1} = 900°C$

$\vartheta_{dp2} = 300°C$

$$\dot{n}_{n,ZR} = \frac{p_n \cdot \dot{V}_{n,ZR}}{R_m \cdot T_{ZR}}$$

$$\dot{n}_{n,ZR} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 0{,}0431}{8314 \cdot 423{,}15}$$

$\dot{n}_{n,ZR} = 1{,}2251 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$$\dot{n}_{n,G} = \frac{p_n \cdot \dot{V}_{n,G}}{R_m \cdot T_G} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 8{,}3333 \cdot 10^{-4}}{8314 \cdot 273{,}15}$$

$\dot{n}_{n,G} = 3{,}6695 \cdot 10^{-5}\ kmol/s$

$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

$n_{CO_2} = 4\ kmol/kmol_G$

$n_{H_2O} = 5\ kmol/kmol_G$

$O_{min} = 6{,}5\ kmol/kmol_G$

$$Z_{Stv} = \frac{\dot{n}_{n,ZR}}{\dot{n}_{n,G}} = \frac{1{,}2251 \cdot 10^{-3}}{3{,}6695 \cdot 10^{-5}}$$

$Z_{Stv} = 33{,}39\ kmol_{ZR}/kmol_G$

$$Z_{Stv} = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0{,}21} \Rightarrow \lambda = 1{,}0788$$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min} = (1{,}0788 - 1) \cdot 6{,}5$

$n_{O_2} = 0{,}3122\ kmol/kmol_G$

$n_{N_2} = 0{,}79 \quad Z_{Stv} = 0{,}79 \cdot 33{,}39$

$n_{N_2} = 26{,}38\ kmol/kmol_G$

$n_{vdp} = n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{O_2} + n_{N_2}$

$n_{vdp} = 35{,}89\ kmol/kmol_G$

$\dot{n}_{n,vdp} = \dot{n}_{n,G} \cdot n_{vdp}$

$\dot{n}_{n,vdp} = 1{,}317 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$$\dot{\Phi}_{dp} = \dot{n}_{n,G} \cdot \left(n_{CO_2} \left[C_{mp,CO_2}\right]_{300}^{900} + n_{O_2} \cdot \left[C_{mp,O_2}\right]_{300}^{900} + n_{H_2O} \cdot \left[C_{mp,H_2O}\right]_{300}^{900} + n_{N_2} \cdot \left[C_{mp,N_2}\right]_{300}^{900} \right) \cdot (900-300)$$

$\dot{\Phi}_{dp} = 27{,}85\ kW$

$\left[C_{mp,CO_2}\right]_{300}^{900} = 52{,}048\ kJ/kmol\,K$

$\left[C_{mp,O_2}\right]_{300}^{900} = 34{,}0375\ kJ/kmol\,K$

$\left[C_{mp,N_2}\right]_{300}^{900} = 31{,}864\ kJ/kmol\,K$

$\left[C_{mp,H_2O}\right]_{300}^{900} = 39{,}7243\ kJ/kmol\,K$

$$\dot{V}_{vdp} = \frac{\dot{n}_{n,vdp} \cdot R_m \cdot T_{vdp}}{p_n}$$

$$\dot{V}_{vdp} = \frac{1{,}317 \cdot 10^{-3} \cdot 8314 \cdot 1173{,}13}{1 \cdot 10^5}$$

$\dot{V}_{vdp} = 0{,}12845\ m^3/s$

Pismeni dio ispita iz Osnova termodinamike A

Zagreb, 10. srpnja 2017.

1. ZADATAK

Kompresor politropski komprimira 500 m^3/h plinske mješavine dušika i ugljikovog dioksida nepoznatih udjela. Manometar u usisnom vodu pokazuje 0,3 bar, a termometar 40 °C, dok u tlačnom vodu manomer pokazuje 15 bar, a termometar 230 °C. Nakon izlaska iz kompresora mješavina se cjevovodom transportira do potrošača pri čemu se ohladi na 200 °C. Za hlađenje cilindra kompresora koristi se 1250 kg/h vode koja se pritom zagrijava za 10 °C. Potrebno je izračunati snagu kompresora, gubitak toplinskog toka tijekom transporta cjevovodom te molni sastav mješavine.
Okoliš je normalnog stanja.
Proces prikazati u p,v- i T,s- dijagramu!

2. ZADATAK

U vodom hlađeno mješalište ulaze dvije plinske smjese: prva je smjesa vodika i dušika jednakih molnih udjela, temperature 55 °C i tlaka 3 bar, a druga je smjesa vodika i dušika jednakih masenih udjela, temperature 75 °C i tlaka 2,5 bar. Iz mješališta, kroz cijev promjera 110 mm brzinom od 12 m/s, izlazi smjesa temperature 45 °C i tlaka 2 bar u kojoj je molni udio vodika 80 %. Potrebno je izračunati maseni protok rashladne vode temperature 20 °C ako se ona smije zagrijati za 5 °C.

3. ZADATAK

Početno stanje vodene pare zatvorene u cilindru sa stapom zadano je tlakom 30 bar i temperaturom 320 °C. Para se u cilindru hladi pri konstantnom volumenu do temperature 200 °C te se potom izotermno komprimira do tlaka 25 bar. Masa pare u cilindru iznosi 300 g. Potrebno je izračunati izmijenjenu toplinu i izvršeni mehanički rad tijekom ovog procesa.
Koliki je volumen vrele kapljevine, a koliki suhozasićene pare nakon izohornog hlađenja?
Proces prikazati u p,v-; T,s- i h,s- dijagramu, a istaknute točke procesa u p,ϑ-dijagramu!

4. ZADATAK

U velikoj se prostoriji nalazi dugačka čelična cijev [$\lambda_č = 58$ W/(m·K)] promjera 50/57 mm, izolirana 30 mm debelim slojem izolacije [$\lambda_i = 0{,}05$ W/(m·K)]. Izolacija je izvana obložena tankim limom ($\varepsilon_L = 0{,}23$). Kroz cijev struji 2500 kg/h vode temperature 110 °C. Cijev je okružena zrakom temperature 21°C i velikim zidovima temperature 17 °C. Koeficijent konvektivnog prijelaza topline s površine lima na zrak iznosi $\alpha_{k,v} = 3{,}5$ W/(m²·K).
Potrebno je izračunati temperaturu lima, koliko se toplinskog toka izmjenjuje po metru duljine cijevi i sniženje temperature vode po metru duljine cijevi.
Raspored temperatura po polumjeru r skicirati u ϑ,r- dijagramu!

5. ZADATAK

Protusmjerni je izmjenjivač topline izveden kao snop od 25 spojenih čeličnih cijevi promjera 20/24 mm ukupne duljine 6m. U tom se izmjenjivaču zagrijava 1,8 kg/s vode od 12 °C na 42 °C. Toplinski tok za zagrijavanje predaje druga struja vode koja se prolaskom kroz cijevi ohladi za 20 °C. Koeficijent prijelaza topline u cijevi iznosi 1100 W/m²·K, a oko cijevi 700 W/m²·K. Potrebno je izračunati kolika je ulazna i izlazna temperatura druge struje vode. Koliki je minimalni, a koliki maksimalni temperaturni gradijent struja ($d\vartheta/dL$) u izmjenjivaču topline?
Raspored temperatura struja i tražene derivacije prikazati u ϑ,A- dijagramu!

6. ZADATAK

Stanje zraka određeno je temperaturom 4 °C i pripadajućom temperaturom rosišta 0 °C. Zrak se miješa s drugom strujom zraka stanja 20 °C i relativne vlažnosti 60 % u omjeru 1:1. Mješavina se zatim zagrijava na 25 °C i ovlažuje vodom temperature 15 °C do sadržaja vlage 10 g/kg. Maseni protok mješavine iznosi 1000 kg/h, a ukupni tlak zraka iznosi 1,2 bar.
Potrebno je izračunati toplinski tok potreban za zagrijavanje mješavine, maseni protok vode za ovlaživanje i temperaturu zraka nakon ovlaživanja.
Proces prikazati u h,x- dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

① 10 srpnja 2017.

$R_M = \frac{R_m}{M_M}$

politropa

Stanje ① $\xrightarrow{n}$ Stanje ②

$y_{N_2} = ?$ $p_p = 0,3\ bar$

$y_{CO_2} = ?$

$T_1 = 40°C$ $v_1 = \frac{q_{v,1}}{q_m}$

$p_1 = p_p + p_{ok}$ $v_1 = 0,535\ m^3/kg$

$p_1 = 0,3 + 1,01325$

$p_1 = 1,31325\ bar$

$q_{v,1} = \frac{500}{3600}\ m^3/h$

$|\Phi_{12}| = q_{m,rw} \cdot c_w \cdot \Delta\vartheta_{rw}$

$\Delta\vartheta_{rw} = 10°C$

$|\Phi_{12}| = \frac{1250}{3600} \cdot 4187 \cdot 10$

$|\Phi_{12}| = 14538,1944\ W$

$\Phi_{12} = -14538,1944\ W$

$\Phi_{12} = q_n \cdot c_{m,v} \cdot \frac{n-\varkappa}{n-1}(T_2 - T_1)$

$\Phi_{12} = q_n \cdot \frac{R_m}{\varkappa - 1} \cdot \frac{n-\varkappa}{n-1}(T_2 - T_1)$

$-14538,1944 = 0,007006 \cdot \frac{8314}{\varkappa - 1} \cdot \frac{1,23398 - \varkappa}{1,23398 - 1}(503,15 - 313,15)$

$\varkappa = 1,3378$

$\varkappa = \frac{c_{mp}}{c_{mp} - R_m}$

$1,3378 = \frac{c_{mp}}{c_{mp} - 8314}$

$c_{mp} = 32\,925,34\ J/kmol\,K$

$c_{mp} = 32,92534\ kJ/kmol\,K$

$c_{mp} = \Sigma y_i c_{mp,i}$

$c_{mp} = y_{N_2} \cdot 29,115 + (1 - y_{N_2}) \cdot 35,860$

$32,92534 = y_{N_2} \cdot 29,115 + (1 - y_{N_2}) \cdot 35,860$

$y_{N_2} = 0,4351$

$y_{CO_2} = 0,5649$

$T_2 = 230°C$

$p_2 = 15\ bar$

$p_2 = 15 + 1,01325$

$p_2 = 16,01325\ bar$

$v_2 = \frac{R_M T_2}{p_2} = \frac{8314 \cdot 503,15}{37,051 \cdot 16,01325 \cdot 10^5}$

$v_2 = 0,0705\ m^3/kg$

$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

~~230~~ $503,15 = 313,15 \left(\frac{16,01325}{1,31325}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$n = 1,23398$

$q_n = \frac{q_{v,1} \cdot p_1}{R_m \cdot T_1}$

$q_n = \frac{500 \cdot 1,31325 \times 10^5}{3600 \cdot 8314 \cdot 313,15}$

$q_n = 0,007006\ kmol/s$

$q_m = q_n \cdot M_M$

$q_m = 0,007006 \cdot 37,051$

$q_m = 0,25958\ kg/s$

$M_M = \sum y_i M_i$

$M_M = 0,4351 \cdot 28,016 + 0,5649 \cdot 44,010$

$M_M = 37,051\ \frac{kg}{kmol}$

$\Phi_{12} - q_m c_p (T_2 - T_1) = P_{12}$

$\Phi_{12} - q_m \frac{c_{m,p}}{M_M} \cdot (T_2 - T_1) = P_{12}$

$P_{12} = -14538,1944 - \frac{0,25958 \cdot 32\,925,34 \cdot 190}{37,051}$

$P_{12} = -58,36655\ kW$

izobara

Stanje ③

$v_3 = \frac{R_m \cdot T_3}{M_M \cdot p_3}$

$p_3 = 16,01325\ bar$

$T_3 = 200°C$

$v_3 = \frac{8314 \cdot 473,15}{37,051 \cdot 16,01325 \times 10^5}$

$v_3 = 0,0663\ m^3/kg$

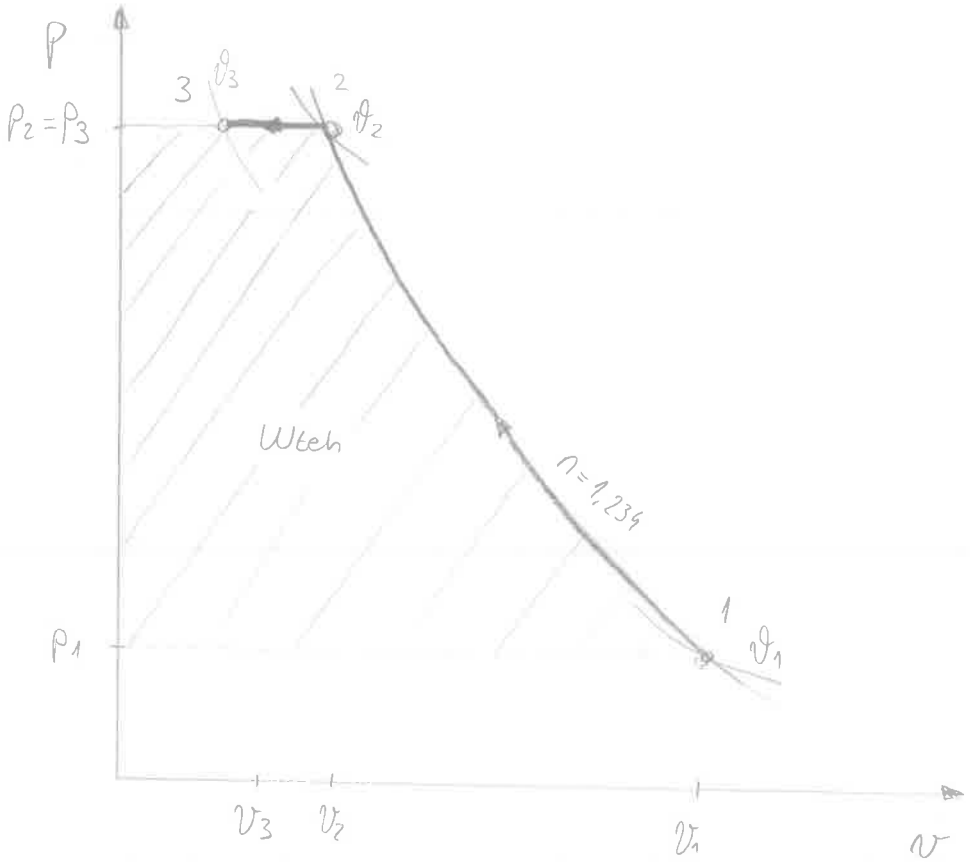
$\Phi_{23} = q_n c_{mp} (T_3 - T_2)$

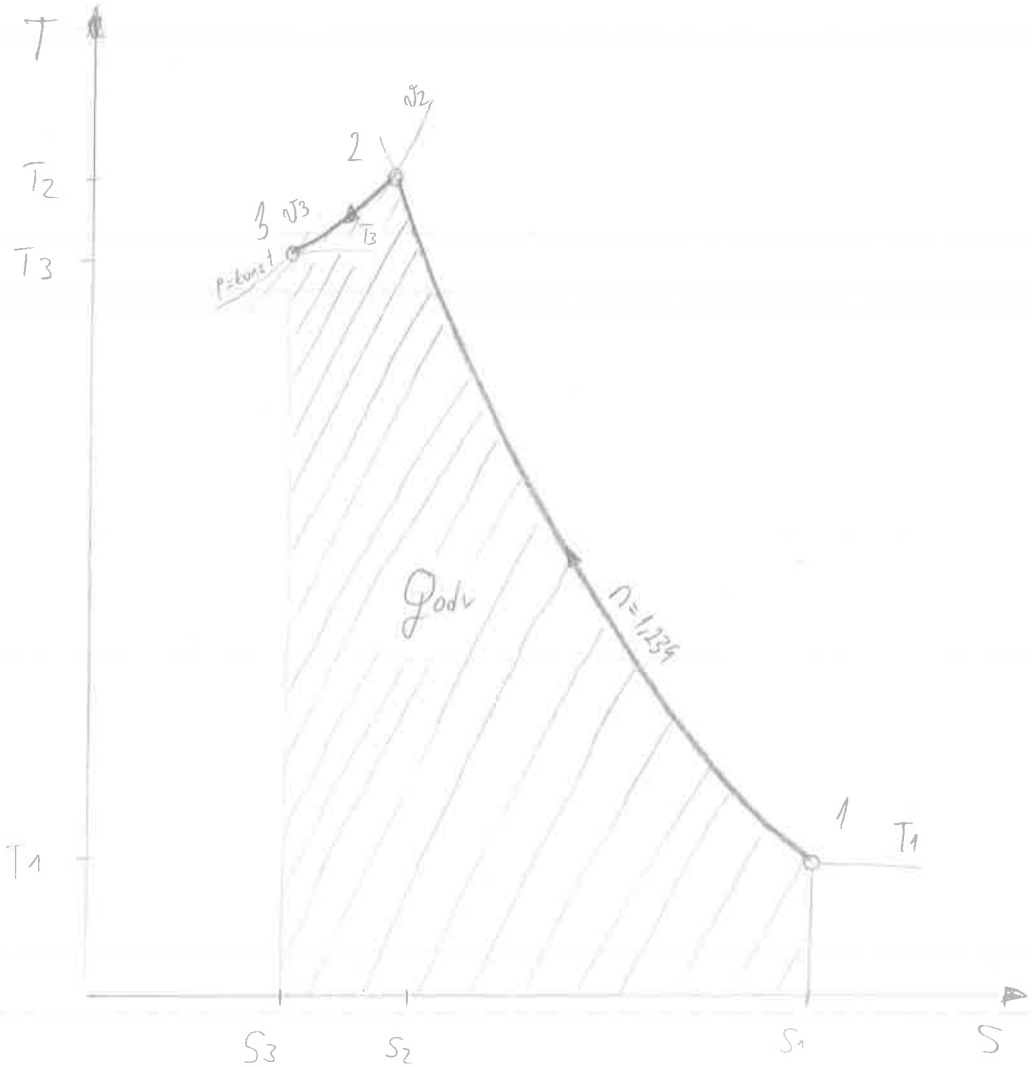
$\Phi_{23} = 0,007006 \cdot 32\,925,34 \cdot (-30)$

$\Phi_{23} = -6920,248\ W$

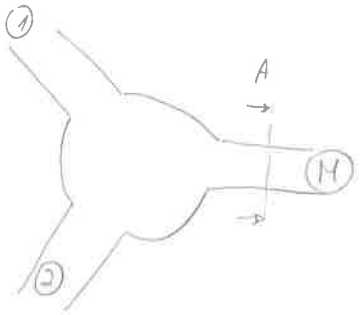
$\Phi_{23} = -6,92\ kW$

Snaga kompresora 58,36 kW, gubitak toplinskog toka je 6,92 kW, molni sastav je $y_{N_2} = 0,4351$ i $y_{CO_2} = 0,5649$


p
3
ϑ_3
2
ϑ_2
$p_2 = p_3$
w_{teh}
$n = 1,234$
1
ϑ_1
p_1
v_3
v_2
v_1
v


T
ϑ_2
2
T_2
3
ϑ_3
T_3
p=konst
q_{odv}
$n = 1,234$
1
T_1
T_1
s_3
s_2
s_1
s

② 10. srpnja 2017



(A)

$A \cdot w = \dot{q}v_M$

$\frac{0{,}110^2\pi}{4} \cdot 12 = 0{,}114\ m^3/s$

Struja (1)
smjesa vodika i dušika
H_2 N_2

$y_{H_2} = y_{N_2} = 0{,}5$

$T_1 = 55°C$

$p_1 = 3\,bar$

$[c_{m,p,1}] = 0{,}5 \cdot 28{,}617 + 0{,}5 \cdot 29{,}115$

$[c_{m,p,1}] = 28{,}866\ kJ/kmolK$

$[c_{m,p,2}] = 0{,}9329 \cdot 28{,}617 + 0{,}0671 \cdot 29{,}115$

$[c_{m,p,2}] = 28{,}65\ kJ/kmolK$

Struja (2)
smjesa vodika i dušika
H_2 N_2

$x_{H_2} = x_{N_2} = 0{,}5$

$T_2 = 75°C$

$p_2 = 2{,}5\,bar$

$y_{H_2} = \frac{\frac{x_{H_2}}{M_{H_2}}}{\frac{x_{H_2}}{M_{H_2}} + \frac{x_{N_2}}{M_{N_2}}}$

$y_{H_2} = \frac{\frac{0{,}5}{2{,}0156}}{\frac{0{,}5}{2{,}0156} + \frac{0{,}5}{28{,}016}}$

$y_{H_2} = 0{,}9329$

$y_{N_2} = 0{,}067$

Smjesa (M)

$T_M = 45°C$

$p_M = 2\,bar$

$y_{H_2} = 0{,}8$

$y_{N_2} = 0{,}2$

$\dot{q}n_M = \frac{\dot{q}v_M \cdot p_M}{R_m \cdot T_M}$

$\dot{q}n_M = \frac{0{,}114 \cdot 2 \times 10^5}{8314 \cdot 318{,}15}$

$\dot{q}n_M = 8{,}62 \times 10^{-3}\ kmol/s$

(1) $\dot{q}n_1 \cdot 0{,}5 + \dot{q}n_2 \cdot 0{,}9329 = \dot{q}n_M\, 0{,}8$

(2) $\dot{q}n_1 \cdot 0{,}5 + \dot{q}n_2 \cdot 0{,}067 = \dot{q}n_M \cdot 0{,}2 \;/\; I - (-II)$

(3) $\dot{q}n_M = \dot{q}n_1 + \dot{q}n_2$

$0{,}8659\,\dot{q}n_2 = 0{,}6\,\dot{q}n_M$

$0{,}8659\,\dot{q}n_2 = 0{,}6 \cdot 8{,}62 \times 10^{-3}$

$0{,}8659\,\dot{q}n_2 = 0{,}6\,\dot{q}n_1 + 0{,}6\,\dot{q}n_2$

$\dot{q}n_2 = 5{,}973 \times 10^{-3}\ kmol/s$

$0{,}2659\,\dot{q}n_2 = 0{,}6\,\dot{q}n_1$

$\dot{q}n_2 = 2{,}2565\,\dot{q}n_1$

$\dot{q}n_1 = 2{,}647 \times 10^{-3}\ kmol/s$

$T_M \cdot (\dot{q}n_1 \cdot c_{m,p,1} + \dot{q}n_2 \cdot c_{m,p,2}) - [(\dot{q}n_1 \cdot c_{m,p,1} \cdot T_1 + \dot{q}n_2 \cdot c_{m,p,2}\ T_2)] = \phi_{I,II}$

$318{,}15 (2{,}647 \times 10^{-3} \cdot 28{,}866 + 5{,}973 \times 10^{-3} \cdot 28{,}65) - [(2{,}647 \times 10^{-3} \cdot 28{,}866 \cdot 328{,}15 + 5{,}973 \times 10^{-3} \cdot 348{,}15 \cdot 28{,}65)]$

$\phi_{I,II} = -5{,}898\ kW$

$\phi_{rw} = -\phi_{I,II} = \dot{q}m \cdot c_w \cdot \Delta T = \frac{5{,}898}{4{,}187 \cdot 5} \Rightarrow 0{,}28 = \dot{q}m$

(3) stanje (1) —izohorno hlađenje→ stanje (2) —izotermna kompresija→ stanje (3)

$p_1 = 30\ bar$
$T_1 = 320\ °C$
$m = 300\ g$

$v_1 = 0{,}0850\ m^3/kg$
$h_1 = 3044{,}18\ kJ/kg$
$s_1 = 6{,}6267\ kJ/kgK$

$T_2 = 200\ °C$
$v_2 = 0{,}0850\ m^3/kg$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_2'}{v_2'' - v_2'}$$

$$x_2 = \frac{0{,}085 - 0{,}0011564}{0{,}12722 - 0{,}0011564}$$

$x_2 = 0{,}665$
$p_2 = 15{,}547\ bar$
$h_2 = h' + x_2 r$
$h_2 = 852{,}39 + 0{,}665 \cdot 1939{,}67$
$h_2 = 2142{,}3\ kJ/kg$
$s_2 = s' + x_2(s'' - s')$
$s_2 = 5{,}057\ kJ/kgK$

$T_3 = T_2 = 200\ °C$
$p_3 = 25\ bar$
$v_3 = 0{,}0011555\ m^3/kg$
$h_3 = 852{,}77\ kJ/kg$
$s_3 = 2{,}3293\ kJ/kgK$

$V_2' = m' \cdot v_2'$ $\qquad \frac{m'}{m} = 1 - x$

$V_2' = (1 - x_2) v_2' \cdot m$

$V_2' = (1 - 0{,}665)\ 0{,}0011564 \cdot 0{,}3$

$\boxed{V_2' = 1{,}162 \times 10^{-4}\ m^3}$

$V_2'' = x_2 \cdot v_2'' \cdot m$

$V_2'' = 0{,}665 \cdot 0{,}12722 \cdot 0{,}3$

$\boxed{V_2'' = 0{,}0254\ m^3}$

$$Q_{12} = m\left[h_2 - h_1 - v(p_2 - p_1)\right]$$

$$Q_{12} = 0{,}3\left[2142{,}3 - 3044{,}18 - 0{,}0850\ (15{,}547 - 30) \times 10^2\right]$$

$Q_{12} = -233{,}71\ kJ$

$W_{12} = \phi$

$Q_{23} = mT(s_3 - s_2)$

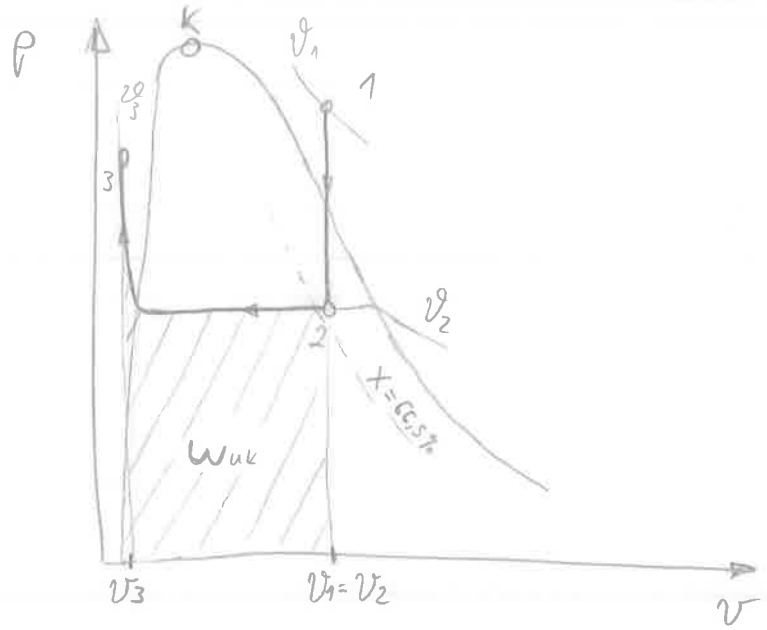
$Q_{23} = 0{,}3 \cdot 473{,}15\ (2{,}3293 - 5{,}057)$

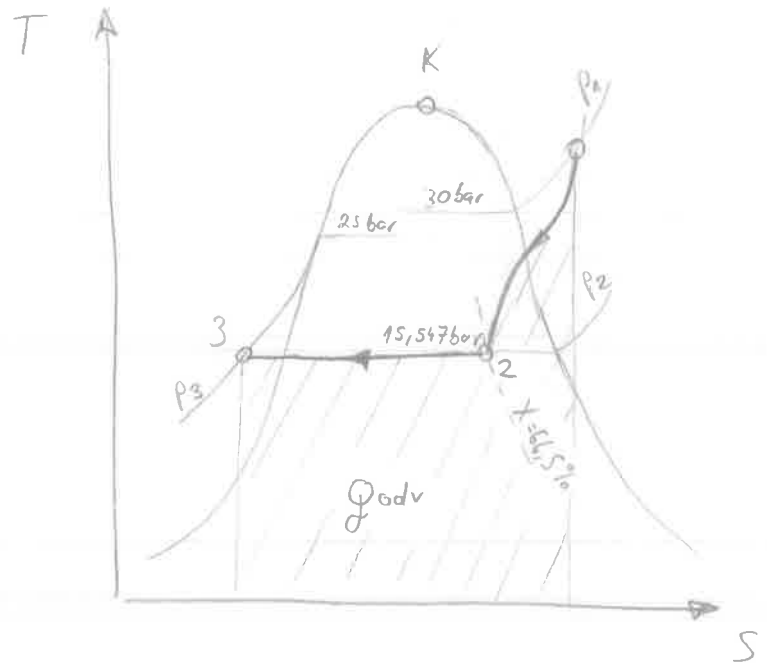
$Q_{23} = -387{,}18\ kJ$

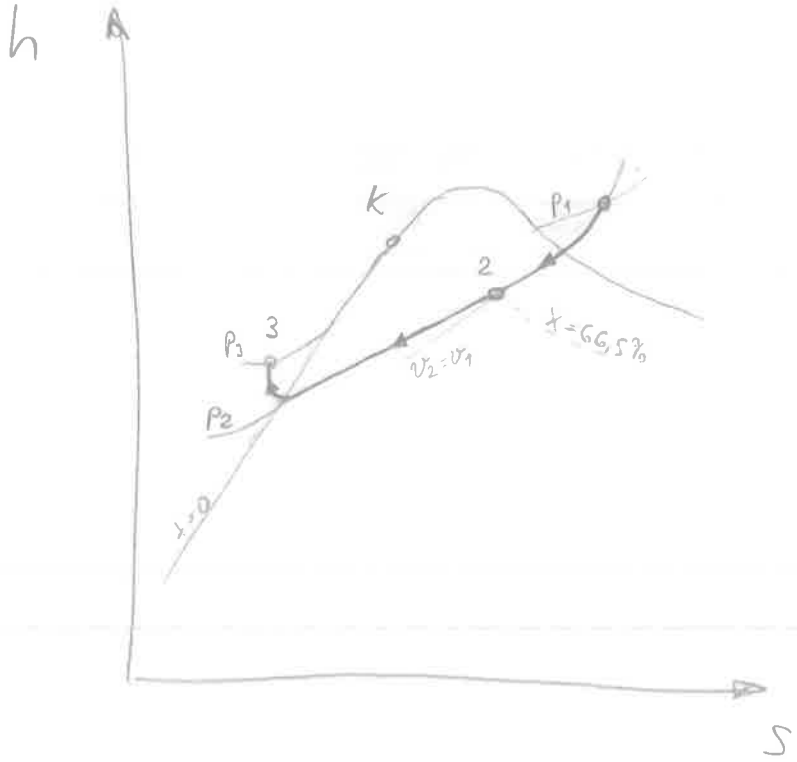
$$W_{23} = m\left[T(s_3 - s_2) - (h_3 - h_2) + (p_3 v_3 - p_2 v_2)\right]$$

$$W_{23} = 0{,}3\left[473{,}15\ (2{,}3293 - 5{,}057) - (852{,}77 - 2142{,}3) + (25 \cdot 0{,}0011555 - 15{,}547 \cdot 0{,}0850) \cdot 10^2\right]$$

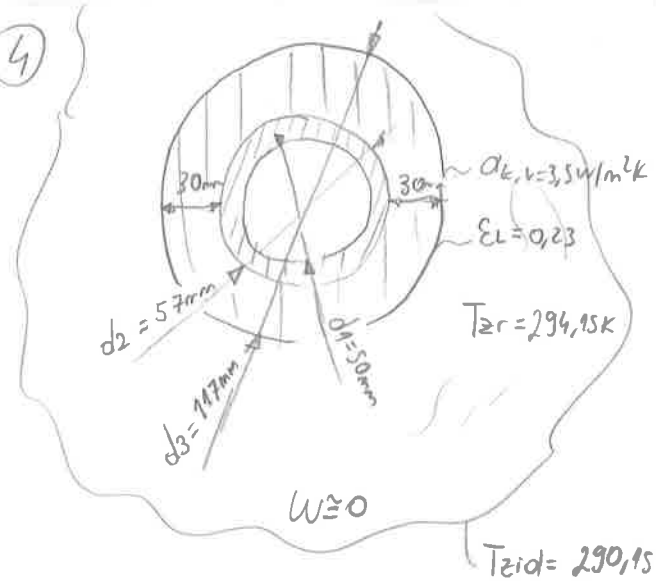
$W_{23} = -39{,}1\ kJ$


p
k
ϑ1
1
ϑ3
3
ϑ2
2
x=66,5%
Wuk
v3
v1=v2
v


T
K
p1
30bar
25bar
p2
3
15,547bar
2
p3
x=66,5%
qodv
S


h
k
p1
2
3
p3
x=66,5%
v2=v1
p2
x=0
S

4)



$d_1 = 50mm$

$d_2 = 57mm$

$d_3 = 117mm$

$\lambda_č = 58\ W/mK$

$\lambda_i = 0,05\ W/mK$

$\varepsilon_L = 0,23$

$\alpha_{k,v} = 3,5\ W/m^2K$

u cijevi

$q_{m,w} = \frac{2500}{3600}\ \frac{kg}{s}$

$T_w = 110°C \doteq 383,15K$

α_u

$q_{v,w} = \frac{q_{m,w}}{\rho_w}$

za 110°C

$\rho_w = 951,02\ kg/m^3$

$\lambda = 0,68169\ W/mK$

$\mu = 254,7 \times 10^{-6}\ Pas$

$Pr = 1,5806$

$q_{v,w} = \frac{2500}{3600 \cdot 951,02}$

$q_{v,w} = 0,0007302\ m^3/s$

$A = \frac{d_1^2 \pi}{4}$

$A = \frac{50^2 \pi}{4}$

$A = 0,0019635\ m^2$

$q_{v,w} = A \cdot w$

$w = \frac{0,0007302}{0,0019635}$

$w = 0,372\ m/s$

$Re = \frac{w \cdot d_1 \cdot \rho_w}{\mu} = \frac{0,372 \cdot 0,050 \cdot 951,02}{254,7 \times 10^{-6}}$

$Re = 69450,22 \gg 3000$

$Nu = \frac{0,0398 \cdot Pr \cdot Re^{0,75}}{1 + 1,74 \cdot Re^{-0,125}(Pr-1)} = \frac{0,0398 \cdot 1,5806 \cdot 69450,22^{0,75}}{1 + 1,74 \cdot 69450,22^{-0,125}(1,5806-1)}$

$Nu = 215,176$

$\frac{Nu \cdot \lambda}{d_1} = \alpha_u = \frac{215,176 \cdot 0,68169}{0,050}$

$\alpha_u = 2933,67\ W/m^2K$

$\Phi_{12} = \Phi_{konv} + \Phi_{zrač}$

$\frac{\Phi_{12}}{L} = \frac{2\pi(\vartheta_1 - \vartheta_{st})}{\frac{1}{2 r_1 \alpha_u} + \frac{1}{\lambda_č} \ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_i} \ln\frac{d_3}{d_2}}$

$\frac{\Phi_{12}}{L} = \frac{2\pi(383,15 - T_{st})}{\frac{1000}{25 \cdot 2933,67} + \frac{1}{58}\ln\frac{57}{50} + \frac{1}{0,05}\ln\frac{117}{57}}$

$\frac{\Phi_{12}}{L} = \underbrace{d_3 \pi \cdot q_{v,k}(T_{st} - T_{zr})}_{\Phi_{konv}} + \underbrace{d_3 \pi \cdot \sigma \cdot \varepsilon_L (T_{st}^4 - T_{zid}}_{\Phi_{zrač}}$

$\frac{\Phi_{12}}{L} = 0,117\pi \cdot 3,5(T_{st} - 294,15) + 0,117\pi \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 0,23(T_{st}^4 - 294,1$

kad se izjednači

$T_{st} = 311,37\ K \doteq 38,22°C$

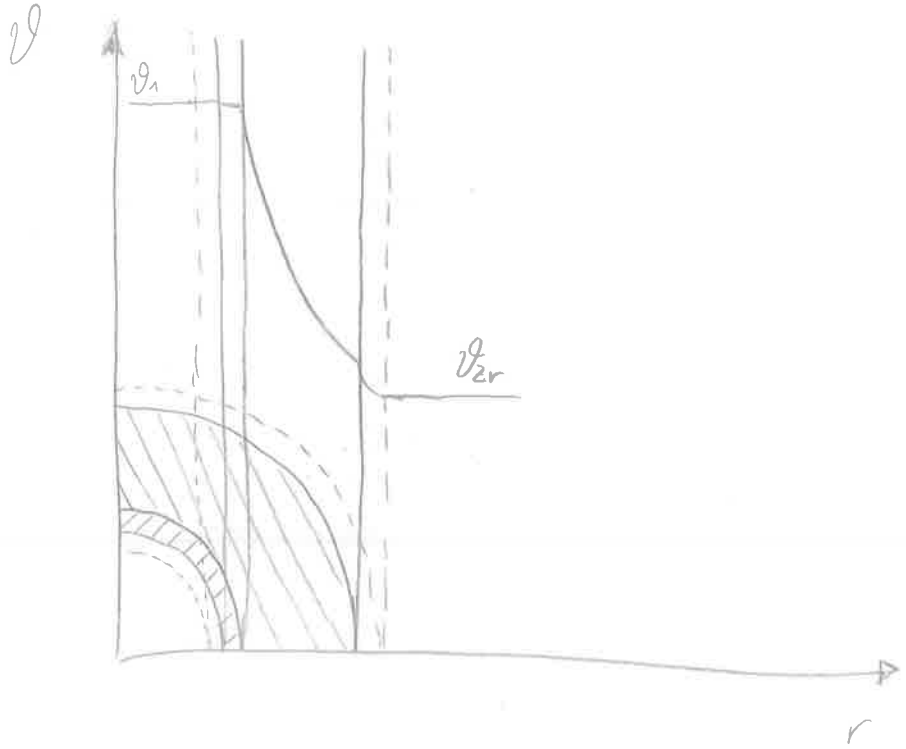
$\frac{\Phi}{L} = \frac{2\pi(383,15 - 311,37)}{\frac{1000}{25 \cdot 2933,67} + \frac{1}{58}\ln\frac{57}{50} + \frac{1}{0,05}\ln\frac{117}{57}}$

$\frac{\Phi}{L} = 31,32\ W/m$

$\frac{\Phi}{L} = \frac{q_m \cdot c_w \cdot \Delta T}{L}$

$\frac{\Delta T}{L} = \frac{\Phi}{L \cdot q_m \cdot c_w} = \frac{31,32 \cdot 3600}{2500 \cdot 4187}$

$\frac{\Delta T}{L} = 0,011°C$


ϑ
ϑ1
ϑ2r
r

(5) Protusmjerni izmjenjivač

$n = 25$ $\quad \Delta\vartheta_2 = 20°C$

$d_1/d_2 = 20/24\,mm$

$L = 6\,m$

$\alpha_u = 1100\,W/m^2K$

$\alpha_v = 700\,W/m^2K$

$$k_v = \frac{1}{\frac{d_2}{d_1\alpha_u} + \frac{R_d}{\lambda} \ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_v}}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{24}{20\cdot 1100} + \frac{0,012}{58} \ln\frac{24}{20} + \frac{1}{700}}$$

$k_v = 391,05\,W/m^2K$

$C_1 = \dot{g}_{m,w} \cdot c_w$

$C_1 = 1,8 \cdot 4187$

$C_1 = 7536,6$

$$\pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = \frac{|\Delta\vartheta_2|}{|\Delta\vartheta_1|} = \frac{20}{42-12}$$

$\pi_3 = \frac{2}{3} \approx 0,6667$

$A_v = d_2 \pi \cdot n \cdot L$

$A_v = 0,024\,\pi \cdot 25 \cdot 6$

$A_v = 11,31\,m^2$

$$\pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1} = \frac{391,05 \cdot 11,31}{7536,6}$$

$\pi_2 = 0,58684$

$$\pi_1 = \frac{1 - e^{-(1-\pi_3)\pi_2}}{1 - \pi_3 e^{-(1-\pi_3)\pi_2}}$$

$$\pi_1 = \frac{1 - e^{-(1-0,6667)0,58684}}{1 - 0,6667\, e^{-(1-0,6667)0,58684}}$$

$\pi_1 = 0,3933$

$$\pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$$

$$0,3933 = \frac{12-42}{12-\vartheta_2'}$$

$\vartheta_2' = 88,28°C$

$\vartheta_2'' = 68,28°C$

$$\frac{d\vartheta_1}{dL}_{max} = -\frac{d_2 k_v n (\vartheta_1' - \vartheta_2'')}{C_1} = -\frac{0,024 \cdot 391,05 \cdot 25 (-56,28}{7536,6}$$

$\frac{d\vartheta_1}{dL}_{max} = 1,752\,K/m$

$C_2 = C_1/\pi_3$

$C_2 = \frac{7536,6}{0,6667}$

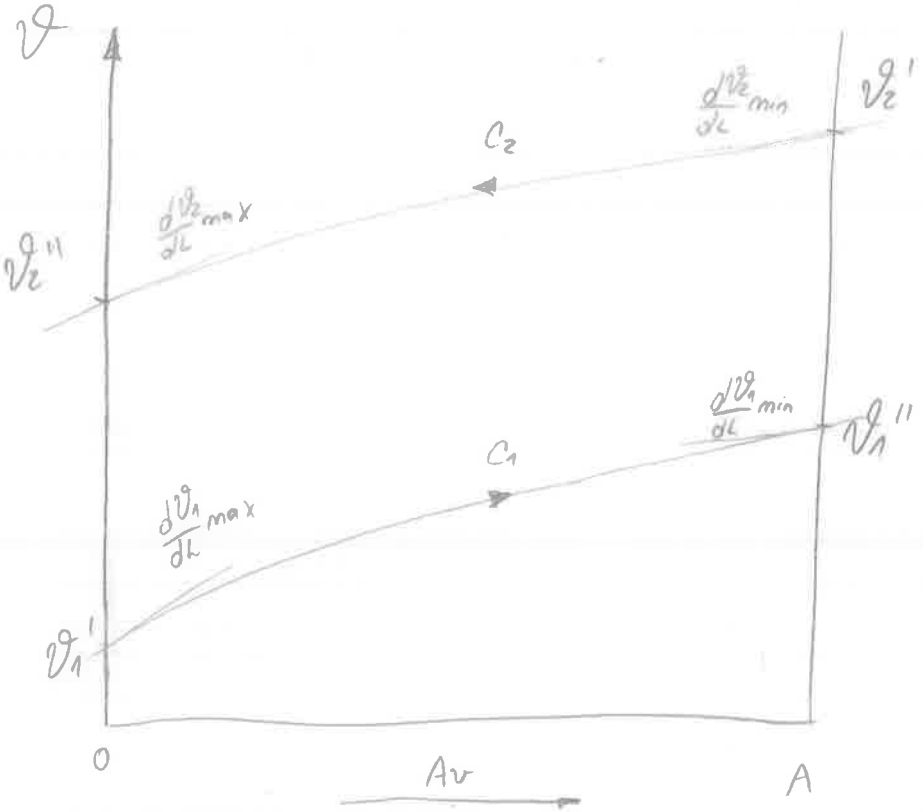
$C_2 = 11304,335$

$$\frac{d\vartheta_1}{dL}_{min} = -\frac{d_2 k_v n (\vartheta_1'' - \vartheta_2')}{C_1} = -\frac{0,024 \cdot 391,05 \cdot 25 (-46,28)}{7536,6}$$

$\frac{d\vartheta_1}{dL}_{min} = 1,44\,K/m$

$$\frac{d\vartheta_2}{dL}_{max} = \frac{-d_2 k_v n (\vartheta_1' - \vartheta_2'')}{C_2} = \frac{-0,024 \cdot 391,05 \cdot 25 (-56,28)}{11304,335} \Rightarrow \frac{d\vartheta_2}{dL}_{max} = 1,168\,K/m$$

$$\frac{d\vartheta_2}{dL}_{min} = \frac{-d_2 k_v n (\vartheta_1'' - \vartheta_2')}{C_2} = \frac{-0,024 \cdot 391,05 \cdot 25 (-46,28)}{11304,335} \Rightarrow \frac{d\vartheta_2}{dL}_{min} = 0,961\,K/m$$


ϑ
$\frac{d\vartheta_2}{dL}$ min
ϑ_2'
C_2
$\frac{d\vartheta_2}{dL}$ max
ϑ_2''
$\frac{d\vartheta_1}{dL}$ min
ϑ_1''
C_1
$\frac{d\vartheta_1}{dL}$ max
ϑ_1'
0
Av
A

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku, GRUPA A

Zagreb, 05. rujna 2017.

1. ZADATAK

Idealni plin u količini 0,1 mola obavlja sljedeći proces:
1-2 izobarno odvođenje topline
2-3 izohorno dovođenje topline
3-1 politropska ekspanzija
Zadano: $p_1 = 1$ bar; $\vartheta_1 = 800$ °C; $\vartheta_2 = -24$ °C; $p_3 = 6{,}7$ bar; $|Q_{1\text{-}2}| = 2{,}396$ kJ.
Potrebno je odrediti eksponent politrope (n), izentropski eksponent idealnog plina, stupanj djelovanja kružnog procesa i snagu stroja ako se proces ponavlja 106 puta u minuti.
Proces prikazati *p,v-* i *T,s-* dijagramu! U *p,v-* dijagramu potrebno je ucrtati izoterme u svakoj točki procesa, dok je u *T,s-* dijagramu potrebno ucrtati izohoru i izobaru u svakoj točki procesa.

2. ZADATAK

U vodom hlađeno mješalište ulaze dvije plinske struje. Prva struja je zrak tlaka 6 bar i temperature 30°C koja dostrujava brzinom od 5 m/s. Druga struja je kisik tlaka 8 bar i temperature 80 °C. Obje struje dovode se kroz cijev unutarnjeg promjera 35 mm. Mješavina najvećeg mogućeg tlaka odvodi se kroz cijev promjera 50 mm. Potrebno je odrediti kojom brzinom treba dostrujavati kisik kako bi njegov maseni udio u mješavini bio 50%! Koliki je izmijenjeni toplinski tok kroz stjenke mješališta ako je izlazna brzina mješavine 3,5 m/s? Koliki bi trebao biti unutarnji promjer izlazne cijevi da bi se u slučaju adijabatskog mješališta postigla ista izlazna brzina mješavine?

3. ZADATAK

U zatvorenoj uspravnoj, prema okolišu izoliranoj, cilindričnoj posudi promjera 0,2 m i visine 0,6 m nalazi se mokra vodena para tlaka 1 bar i grijalica zanemarivog volumena. Uključenjem grijalice sadržaj posude se zagrijava do 200 °C. Kolika mora biti početna visina kapljevine u posudi kako bi konačna visina kapljevine iznosila 1 cm? Koliko se topline oslobodi pri tom zagrijavanju? Proces prikazati u *p,v-*, *T,s-* i *h,s-* dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

4. ZADATAK

Zidovi neke prostorije napravljeni su od opeke debljine 20 cm i gustoće 1000 kg/m³. S vanjske strane zida postavljena je izolacija od kamene vune nepoznate debljine i gustoće 200 kg/m³. Temperatura zraka u prostoriji iznosi 22 °C, a izvana je temperatura -15 °C. Za otpor prijelazu topline na unutarnjoj strani zida može se uzeti 0,2 (m²·K)/W, dok ukupni otpor na vanjskoj strani zida iznosi 0,05 (m²·K)/W (konvekcija + zračenje). Temperatura zraka u prostoriji održava se konstantnom pomoću grijalice snage 1150 W. Ukupna površina svih zidova koji okružuju prostoriju iznosi 80 m².
Potrebno je:

a) Odrediti debljinu kamene vune.
b) Odrediti mjesto u zidu (mjereno od unutarnje površine zida) gdje je temperatura 0°C.
c) Odrediti udio toplinskog toka (u ukupnom) koji se prenosi zračenjem prema okolišu ako je emisijski faktor vanjske površine zida 0,7 a prosječna temperatura ambijenta koji okružuje zidove prostorije 2 °C niža od vanjske temperature zraka.

Prikazati raspored temperatura u ϑ,x dijagramu i naznačiti mjesto gdje je temperatura 0 °C!

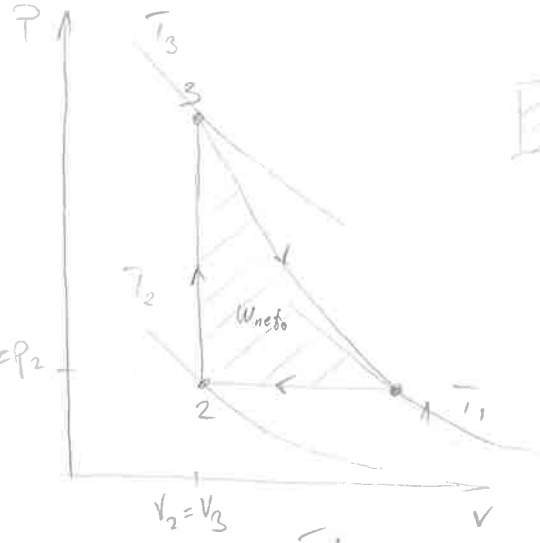
5. ZADATAK

Izmjenjivač topline izveden je kao snop od 50 čeličnih cijevi promjera 20/24 mm duljine 4 m, smještenih u plaštu. U izmjenjivaču je potrebno zagrijati vodu od 20 °C do 90 °C.
Koliko se vode može zagrijati ako se za ogrjevni medij upotrijebi mokra vodena para x=0,9 tlaka 2 bar? Koeficijent prijelaza topline na unutarnjoj stjenki čeličnih cijevi iznosi 2500 W/(m²·K).
Na kojoj udaljenosti L_x (mjereno od ulaza vode) će voda imati temperaturu od 55°C?
Odredite minimalni i maksimalni gradijent slabije struje ($d\vartheta/dL$) u izmjenjivaču.
Raspored temperatura struja i tražene derivacije prikažite u ϑ,L dijagramu!
Napomena: Za izračun koeficijenta prijelaza topline može se pretpostaviti temperatura vanjske stjenke cijevi 111 °C

6. ZADATAK

Plin propan (C_3H_8) volumenskog protoka 2,6 m³/h ulazi u ložište s temperaturom 0 °C, a zrak s temperaturom 100 °C. U ložište se dobavlja 90 m³/h zraka. Izgaranje je potpuno, a cijeli proces teče na tlaku 1 bar.
Potrebno je izračunati koliko se korisnog toplinskog toka dobiva pri hlađenju dimnih plinova do 200 °C, ako se 3% od ukupnog toplinskog toka gubi kroz stjenke kotla!
Na kojoj temperaturi dolazi do kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova?
Ako se uzorak dimnih plinova stavi u čvrstu posudu i zatvori da se ohladi na 0 °C, koliki će biti tlak u posudi? (Pretpostaviti da sva vodena para kondenzira i da je volumen kondenzata zanemariv!)
Računati sa srednjim (molarnim) toplinskim kapacitetima!

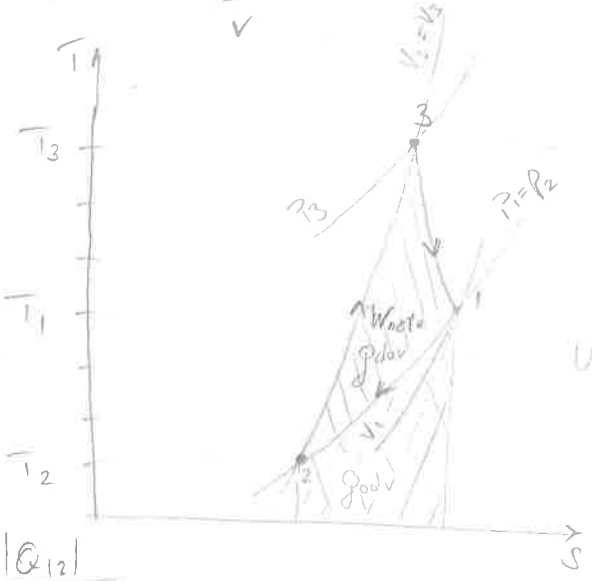
5. 9. 2017.



▨ - Wneto

1. $p_1 = 1\ bar$
$\vartheta_1 = 800\ °C$
$\vartheta_2 = -24\ °C$
$p_3 = 6{,}7\ bar$
$|Q_{12}| = 2{,}396\ kJ$

$n = ?$
$\varkappa = ?$
$\eta = ?$
$P = ?$ $\quad \dot{n} = 106\ o/min$
$N = 0{,}1\ mol = 10^{-4}\ kmol$



▨ - Q_{dov}
▨ - Q_{odv}
$W_{neto} = Q_{dov} - |Q_{odv}|$

① $T_1 = 1073{,}15\ K$
$p_1 = 1\ bar$

② $T_2 = 249{,}15\ K$
$p_2 = 1\ bar$

③ $T_3 = T_2 \cdot \frac{p_3}{p_2} = 1669{,}3\ K$
$p_3 = 6{,}7\ bar$

$|Q_{12}| = N \cdot C_{mp} \cdot (T_1 - T_2) \rightarrow C_{mp} = \frac{|Q_{12}|}{N \cdot (T_1 - T_2)}$

$C_{mp} = 29{,}08 \frac{kJ}{kmol\,K}$ ✓

$\varkappa = \frac{C_{mp}}{C_{mp} - R_m} = 1{,}41$ ✓

$\frac{p_1}{p_3} = \left(\frac{T_1}{T_3}\right)^{\frac{n}{n-1}} \quad / \log$

$\log \frac{p_1}{p_3} = \frac{n}{n-1} \log \frac{T_1}{T_3} \rightarrow$ SOLVE $\rightarrow n = 1{,}3025$ ✓

$Q_{23} = N \cdot C_{mV} \cdot (T_3 - T_2) = N \cdot \frac{C_{mp}}{\varkappa} \cdot (T_3 - T_2) = 2{,}95\ kJ$

$Q_{31} = N \cdot \frac{C_{mp}}{\varkappa} \cdot \frac{n - \varkappa}{n - 1} (T_1 - T_3) = 0{,}4\ kJ$

$W_{neto} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = -2{,}396 + 2{,}95 + 0{,}4 = 0{,}954\ kJ$

$\eta = \frac{W_{neto}}{Q_{dov}} = \frac{0{,}954}{2{,}95 + 0{,}4} = 0{,}285$

$P = W_{neto} \cdot \dot{n} = 0{,}954 \cdot \frac{106}{60} = 1{,}685\ kW$

2. $p_1 = 6\ bar$, $\vartheta_1 = 30°C$, $w_1 = 5\ m/s$ } ZRAK (kisik + dusik)

$p_2 = 8\ bar$, $\vartheta_2 = 80°C$ } KISIK

$d_u = 35\ mm$

$d_i = 50\ mm$

$w_2 = ?$ $\quad x_K = 0,5$

$w_M = 3,5\ m/s$ $\quad \dot{Q}_{12} = ?$

$$\dot{Q}_{v1} = A \cdot w_1 = \frac{0,035^2 \pi}{4} \cdot 5 = 4,81 \cdot 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{n}_1 = \frac{p_1 \cdot \dot{Q}_{v1}}{R_m \cdot T_1} = 1,145 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$$

$$Y_K = \frac{\frac{0,5}{32}}{\frac{0,5}{32} + \frac{0,5}{28,016}} = 0,4668$$

$\dot{n}_1 = 1,145 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$\dot{n}_2 = 0,5515 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$\dot{n}_M = 1,697 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$$0,2129\,\dot{n}_1 + \dot{n}_2 = 0,4668\,\dot{n}_M$$

$$0,179\,\dot{n}_1 = 0,5332\,\dot{n}_M$$

$$\dot{n}_M = 1,697 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$$

$$\dot{n}_2 = 0,5515 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$$

$$\dot{Q}_{v2} = \frac{\dot{n}_2 \cdot R_m \cdot T_2}{p_2} = 2,024 \cdot 10^{-3}\ m^3/s$$

$$w_2 = \frac{\dot{Q}_{v2}}{A} = 2,1\ m/s$$

$w_M = 3,5\ m/s$ $\quad A = \frac{0,05^2 \pi}{4}\ m^2$

$$\dot{Q}_{vM} = A \cdot w_M = 6,87 \cdot 10^{-3}\ m^3/s$$

$p_M = p_1 = 6\ bar$

$$T_M = \frac{p_M \cdot \dot{Q}_{vM}}{\dot{n}_M \cdot R_m} = 292,16\ K \quad (\vartheta_M \approx 19°C)$$

$$\dot{\Phi}_{12} = \underbrace{T_M \cdot (\dot{n}_1 \cdot c_{up1} + \dot{n}_2 \cdot c_{up2})}_{A} - \underbrace{\dot{n}_1 \cdot c_{up1} \cdot T_1 - \dot{n}_2 \cdot c_{up2} \cdot T_2}_{B}$$

$\dot{\Phi}_{12} = -1,35\ kW$

$$T_M' = \frac{\dot{n}_1 \cdot c_{up1} \cdot T_1 + \dot{n}_2 \cdot c_{up2} \cdot T_2}{\dot{n}_1 \cdot c_{up1} + \dot{n}_2 \cdot c_{up2}} = 319,48\ K \quad (\vartheta_M' = 46,33°C)$$

$$\dot{Q}_{vM}' = \frac{\dot{n}_M \cdot R_m \cdot T_M'}{p_M} = 7,51 \cdot 10^{-3}\ m^3/s$$

$$\dot{Q}_{vM}' = w_M \cdot A' \qquad A' = \frac{d_i'^2 \pi}{4}$$

$$A' = \frac{\dot{Q}_{vM}'}{w_M}$$

$$\frac{d_i'^2 \pi}{4} = \frac{\dot{Q}_{vM}'}{w_M}$$

$$d_i' = \sqrt{\frac{\dot{Q}_{vM}'}{w_M} \cdot \frac{4}{\pi}} = 0,0523\ m = 52,3\ mm$$

3.. $d = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}6\ m$

$p_1 = 1\ bar \quad \vartheta_1 = 99{,}61\ °C$

$\vartheta_2 = 200\ °C$

$p_2 = 15{,}547\ bar$

(1) — IZOHORNO ZAGRIJAVANJE → (2)

$v_1' = 0{,}0010431\ m^3/kg$

$v_1'' = 1{,}694\ m^3/kg$

$V_{pos} = \frac{0{,}2^2\pi}{4} \cdot 0{,}6 = 0{,}01885\ m^3$

$v_1 = v_2 = \frac{V_{pos}}{m} = 0{,}04516\ \frac{m^3}{kg}$

$m_2' = V_2' \cdot \rho_2' = 0{,}01 \cdot \frac{0{,}2^2\pi}{4} \cdot 864{,}75 = 0{,}2717\ kg$

$\rho_2' = 864{,}75\ kg/m^3$

$x_1 = \frac{v_1 - v_1'}{v_1'' - v_1'} = 0{,}026$

$m_2'' = V_2'' \cdot \rho_2'' = 0{,}59 \cdot \frac{0{,}2^2\pi}{4} \cdot 7{,}8604 = 0{,}1457\ kg$

$x_1' = 1 - x_1 = 0{,}974$

→ maseni udio kapljevine u mokroj pari

$m_{muk} = m_2' + m_2'' = 0{,}4174\ kg$

$x_2 = \frac{m_2''}{m_{muk}} = 0{,}349$

$x_1' = \frac{m_1'}{m_{muk}}$

$m_1' = 0{,}4065\ kg \quad \rho_1' = 958{,}41\ \frac{kg}{m^3}$

$V_1' = \frac{m_1'}{\rho_1'} = \frac{0{,}4065}{958{,}4} = 4{,}2414 \cdot 10^{-4}\ m^3$

$V_1' = x \cdot \frac{0{,}2^2\pi}{4} \Rightarrow x = 0{,}0135\ m = 1{,}35\ cm$

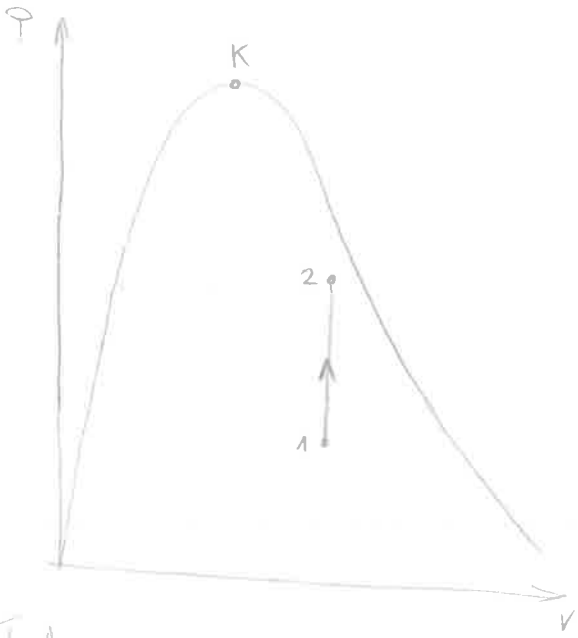
$Q_{12} = m\left[h_2 - h_1 - v\left(p_2 - p_1\right)\right]$

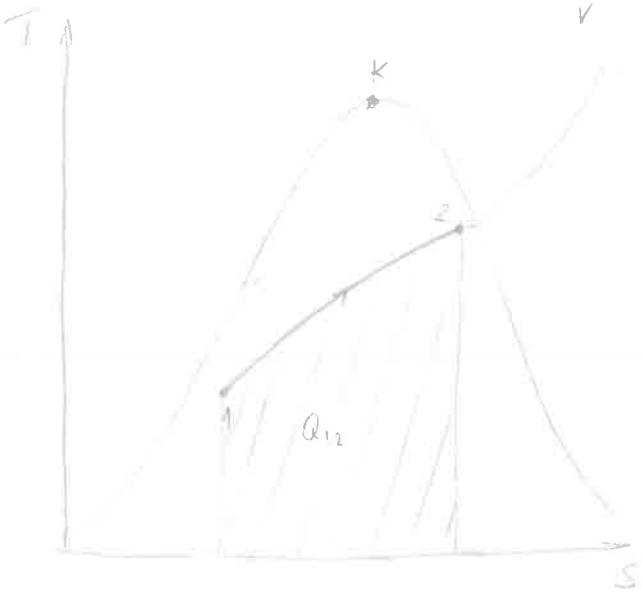
$h_1 = h_1' + x_1\left(h_1'' - h_1'\right) = 478\ kJ/kg$

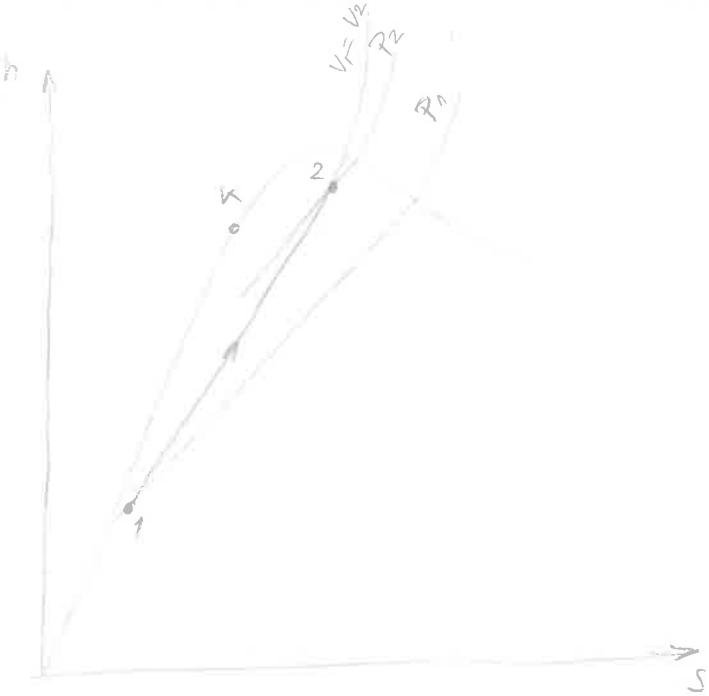
$h_2 = h_2' + x_2\left(h_2'' - h_2'\right) = 1531{,}27\ kJ/kg$

$Q_{12} = 0{,}4174 \cdot \left[-478 \cdot 10^3 + 1531{,}27 \cdot 10^3 - 0{,}04516 \cdot (15{,}547 - 1) \cdot 10^5\right]$

$Q_{12} = 412{,}2\ kJ$







* v h-s diagramu izohora v mokrem področju se crta blago zakrivljeno, pogledati Molierov dij.

4. $\delta_{OP} = 20\ cm$ / $\lambda_{OP} = 0{,}362\ W/mK$ $\quad \frac{1}{k_u} = 0{,}2\ m^2K/W$ $\quad \varepsilon_1 = 0{,}7$

$\rho_{OP} = 1000\ kg/m^3$ $\quad \frac{1}{k_v} = 0{,}05\ m^2K/W$

$\delta_v = ?$

$\rho_{KV} = 200\ kg/m^3$ → KAMENA VUNA $\quad \lambda_{KV} = 0{,}04\ W/mK$

$\vartheta_{ZR} = 22\ °C$ $\quad P_{GRIJALICE} = 1150\ W$

$\vartheta_v = -15\ °C$ (VANJSKA TEMPERATURA) $\quad A_{ZIDOVA} = 80\ m^2$

$$\frac{1}{k_u} = \frac{1}{\alpha_u} = 0{,}2\ \frac{m^2K}{W} \rightarrow \alpha_u = 5\ W/m^2K$$

$$\frac{1}{k_v} = 0{,}05\ \frac{m^2K}{W} = \frac{1}{\alpha_v} = 0{,}05 \rightarrow \alpha_v = 20\ W/m^2K$$

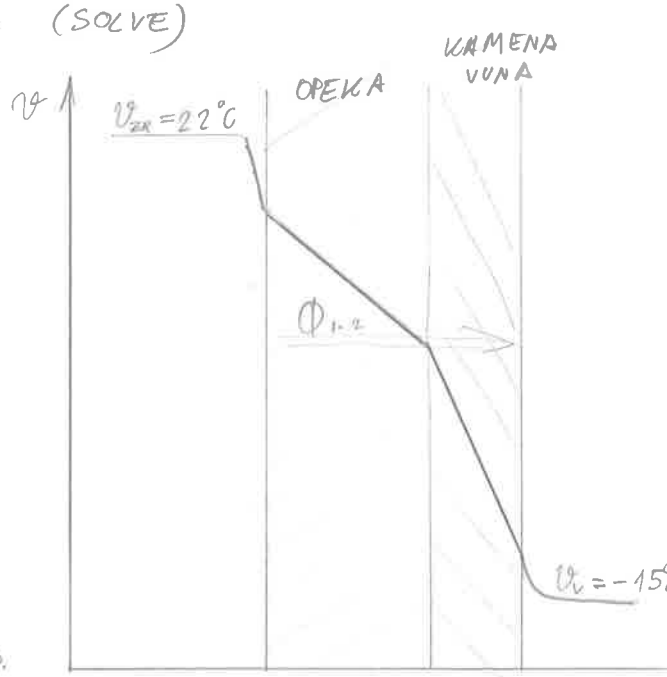
a) $$\Phi_{1-II} = \frac{A_{ZIDOVA} \cdot (\vartheta_{ZR} - \vartheta_v)}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{\delta_{OP}}{\lambda_{OP}} + \frac{\delta_{KV}}{\lambda_{KV}} + \frac{1}{\alpha_v}}$$

$$1150 = \frac{80 \cdot (22 - (-15))}{0{,}2 + \frac{0{,}2}{0{,}326} + \frac{\delta_{KV}}{0{,}04} + 0{,}05} \quad \text{(SOLVE)}$$

$$\delta_{KV} = 68{,}42\ mm$$

b) $$1150 = \frac{80 \cdot (22 - 0)}{0{,}2 + \frac{0{,}2}{0{,}326} + \frac{\delta_{KV}}{0{,}04}}$$

$$\delta_x = 28{,}68\ mm$$



c)

$$\Phi_{1-2} = \Phi_{KONV} + \Phi_{ZR}$$

prosječna temp. okoline

$$\Phi_{ZR} = A_{ZIDOVA} \cdot \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_3^4 - T_{amb}^4)$$

$$\Phi_{ZR} = 80 \cdot 0{,}7 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (258{,}87^4 - 256{,}15^4)$$

$$\Phi_{ZR} = 589{,}92\ W$$

* veći pad temperature imamo na onom dijelu gdje je manja toplinska provodnost, $\lambda_{KV} < \lambda_{OP}$ stoga će kroz kamenu vunu biti veća razlika temperatura (gledajući omotnjaje : razliku temperature kamene vune)

4.

5. $n = 50$

$\lambda_č = 58\ W/m^2K$

$d_u/d_v = 20/24\ mm$

$l = 4\ m$

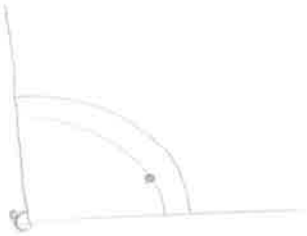
$\vartheta_1' = 20°C$

$\vartheta_1'' = 90°C$

$\vartheta_2(p) = 120{,}21$

$x_2 = 0{,}9 \quad p_2 = 2\ bar$

$\alpha_u = 2500\ W/m^2K$



$C_1 = \dot{m}_1 \cdot c_{p1}$

$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2 \to \infty} = \emptyset$

$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2(p)} = \frac{20-90}{20-120{,}21} = 0{,}6985$

$\dot{m}_1 = ?$

$L_x = ?\ (\vartheta_1 = 55°)$

pretp. $\vartheta_s = 111°C$

$\Pi_2 = -\ln(1-\Pi_1) = 1{,}2$

$\Pi_2 = \frac{k \cdot A_0}{C_1} \to \dot{m}_1 = \frac{k_v \cdot A_{ov}}{\Pi_2 \cdot c_{p1}}$

$c_{p1} = 4{,}1811\ kJ/kgK$

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_u} + \frac{R_v}{\lambda_č} \ln\frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_v}}$$

$$\alpha_v = \sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot \lambda^3 \cdot g \cdot \Delta h}{4 \cdot \nu (\vartheta' - \vartheta_s) d_v}}$$

$\vartheta_s = 111°C$, $\vartheta' = 120{,}21°C$

$\gamma = 943{,}13\ kg/m^3$

$\lambda = 0{,}68319\ W/mK$

$\Delta h = x \cdot r = 0{,}9 \cdot 2201{,}56 = 1981{,}4\ kJ/kg$

$\nu = \frac{\mu}{\gamma} = \frac{232{,}05 \cdot 10^{-6}}{943{,}13} = 2{,}46 \cdot 10^{-7}\ \frac{Pa\,s}{\frac{kg}{m^3}}$

$\alpha_v = 12\,804\ W/m^2K$ *

$k_v = 1005{,}4\ W/m^2K$

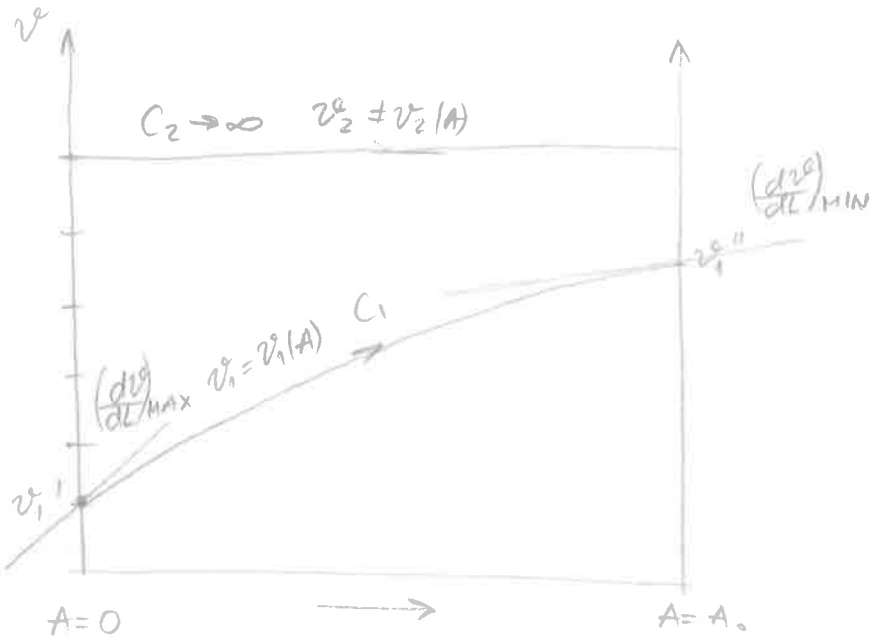
$$\dot{m}_1 = \frac{1005{,}4 \cdot 50 \cdot 0{,}024 \cdot \pi \cdot 4}{1{,}2 \cdot 4{,}1811 \cdot 10^3} = 3{,}022\ kg/s$$

$$\underbrace{\frac{\vartheta_1' - \vartheta_1}{\vartheta_1' - \vartheta_2(p)}}_{A} = \frac{1 - e^{-\left(1+\frac{C_1}{C_2}\right)\frac{k \cdot A_0}{C_1}}}{1 + \frac{C_1}{C_2}}$$

$\vartheta_1 = 55°C$

$$\underbrace{\frac{\vartheta_1' - \vartheta_1}{\vartheta_1' - \vartheta_2(p)}}_{A} = 1 - e^{-\frac{k \cdot A_0}{C_1}} \quad \frac{-k_v\, d_v \pi \cdot L_x \cdot n}{C_1}$$

$A = 1 - e^{-0{,}3 L_x} \to L_x = 1{,}43\ m$



$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dL}\right)_{MAX} = \frac{k_T \cdot d_v\pi \cdot n\,(\vartheta_2 - \vartheta_1')}{C_1} = 30{,}06\ \frac{°C}{m}$$

$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dL}\right)_{MIN} = \frac{k_T \cdot d_v\pi \cdot n\,(\vartheta_2 - \vartheta_1'')}{C_1} = 0{,}9\ \frac{°C}{m}$$

6. $\dot{V}_g = 2,6\ m^3/h = 7,22 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$\vartheta_g = 0°C$

$\vartheta_z = 100°C$

$\dot{V}_z = 90\ m^3/h$

$p = 1\ bar$

$\vartheta_{izg} = 200°C$

$1\,kmol\ C_3H_8 + 5\,kmol\ O_2 \rightarrow 3\,kmol\ CO_2 + 4\,kmol\ H_2O$

$n_{CO_2} = 3\,kmol/kmol$

$n_{H_2O} = 4\,kmol/kmol$

$\Phi_{12} = \Phi_{odv} + \Phi_{osj} + 0,03 \cdot \Phi_{12}$

$\Phi_{12} \cdot 0,97 = \Phi_{odv} + \Phi_{osj}$

$\Phi_{12} = \frac{\Phi_{odv}}{0,97} + \frac{\Phi_{osj}}{0,97}$

$n_{CO_2} = 3\,kmol/kmol_G$

$n_{H_2O} = 4\,kmol/kmol_G$

$O_{min} = 5\,kmol/kmol_G$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min} = 0,3235\,kmol/kmol_G$

$n_{N_2} = 0,79\, z_{stv} = 0,79 \cdot 25,35 = 20,027\,kmol/kmol_G$

$\dot{n}_z = z_{stv} \cdot \dot{n}_G$

$\dot{n}_{n,G} = \frac{p \cdot \dot{V}_{n,G}}{R_m \cdot T_G} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 7,22 \cdot 10^{-4}}{8314 \cdot 273,15} = 3,1793 \cdot 10^{-5}\ kmol/s \cdot n_{vdp} = 27,35\ kmol/kmol_G$

$\dot{n}_z = \frac{p \cdot \dot{V}_z}{R_m \cdot T_z} = \frac{10^5 \cdot \frac{90}{3600}}{8314 \cdot 373,15} = 8,058 \cdot 10^{-4}\ kmol/s$

$z_{stv} = \frac{\dot{n}_z}{\dot{n}_G} = 25,35\ \frac{kmol}{kmol}$

$z_{stv} = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0,21}$ $\quad O_{min} = 5\,kmol/kmol_G$

$\rightarrow \lambda = 1,0647$

$\Phi_{I-II} = H_{II} - H_I + E_{KEMI} - E_{KEMI}$

$H_{II} = \dot{n}_{n,G} \cdot (n_{CO_2} \cdot [C_{mp,CO_2}]_0^{200} + n_{H_2O} \cdot [C_{mp,H_2O}]_0^{200} + \ldots) \cdot \vartheta_{izG}$

$H_{II} = 5,415\ kW$

$H_I = \dot{n}_{n,G} \cdot z_{stv} \cdot [C_{mp,zr}]_0^{100} \cdot 100$

$H_I = 2,35\ kW$

$E_{KEMI} = \dot{n}_{n,G} \cdot \Delta H_{md}$ $\quad \Delta H_{md} = 2044\ MJ/kmol$

$E_{KEMI} = 65\ kW$

$\Phi_{I-II} = -61,935\ kW$

$\Phi_{kor} = 0,97 \cdot |\Phi_{osj}|$

$\Phi_{kor} = -60,08\ kW$

$p'_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{vdp}} \cdot p_{PROCESA} = \frac{4}{27,35} \cdot 1$

$p'_{H_2O} = 0,1463\ bar$ PRIBLIŽNO OČITAMO ALI INTERPOLIRAMO IZ TT. (str 6)

$\vartheta'_{H_2O} = 13,02°C$

(1) $p_{POSUDA} \cdot V_{POSUDA} = n_{sdp} \cdot N_G \cdot T_{KONAČNO} \cdot R_m$

(2) $p_{PROCESA} \cdot V_{POSUDA} = n_{vdp} \cdot N_G \cdot T_{dp} \cdot R_m$ $\quad / : (2)$

$p_{POSUDA} = \frac{n_{sdp}}{n_{vdp}} \cdot \frac{T_{KONAČNO}}{T_{dp}} \cdot p_{PROCESA}$

$p_{POSUDA} = \frac{23,35}{27,35} \cdot \frac{273,15}{473,15} \cdot 1$

$p_{POSUDA} = 0,4929\ bar$

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku

Zagreb, 5. veljače 2018.

1. ZADATAK

Čelična „boca" ($\rho_č$ = 7800 kg/m^3 ; $c_č$ = 0,46 kJ/(kg·K)) u obliku šuplje kugle promjera 206/200 mm sadrži stlačeni dušik i opremljena je manometrom. Boca se nalazi u (prema van) toplinski izoliranoj posudi koja sadrži 5 kg vode temperature 15 °C, pri čemu manometar na boci pokazuje vrijednost 3,2 bar. U posudi je i električna grijalica snage 2 kW.

Koliko dugo treba grijalica biti uključena da bi manometar na posudi s dušikom pokazao 4,9 bar? Tlak okoliša je 1,02 bar. Kolika će biti konačna temperatura sadržaja posude?

Procese s čelikom i dušikom nacrtati u odvojenim T,s-dijagramima!

2. ZADATAK

Plin molarnog toplinskog kapaciteta $C_{m,p}$ = 30,8 kJ/(kmol·K) i protočne količine 0,73 kmol/min izentropski ekspandira u turbini od početnog tlaka 5,5 bar na okolišni tlak 1,02 bar, a potom se ispušta u okoliš temperature 0 °C.

Želimo li da plin izentropskom ekspanzijom u turbini daje snagu 65 kW, kolika treba biti njegova temperatura na ulazu u turbinu? S kolikom će temperaturom plin izlaziti iz turbine? Koliko toplinskog toka izmjenjuje plin s okolišem nakon izlaska iz turbine? Koliki je protočni volumen plina prije i nakon ekspanzije?

Skica procesa s plinom u p,v i T,s-dijagramu!

3. ZADATAK

Kroz toplinski izoliranu cijev promjera 210/220 mm struji 2100 kg/s vodene pare tlaka 8 bar brzinom 3 m/s i vodi u grijalicu. Da bi u grijalici predavala toplinski tok pri temperaturi 120 °C, tlak pare se prije ulaska u grijalicu smanji na potrebnu vrijednost prigušivanjem u prigušnom ventilu. Para u grijalici potpuno kondenzira, a oslobođenim se toplinskim tokom zagrijava struja vode od 50 °C na 70 °C.

Kolika je temperatura pare nakon prigušenja i koliko se kg/h vode zagrijava u grijalici? Kolika je srednja temperatura odvođenja topline?

Skica procesa s parom u T,s- i h,s-dijagramu!

4. ZADATAK

Duž kanala kvadratnog presjeka 0,4 m x 0,4 m, čiji zidovi (ε_z = 0,9) imaju temperaturu 20 °C prolazi toplovodna cijev promjera 54/60 mm, izolirana 40 mm debelim slojem staklene vune [λ_i = 0,043 W/m·K]. Izolacija je obložena tankim aluminijskim limom (ε_L = 0,2), čija je temperatura 40 °C. Temperatura mirujućeg zraka u kanalu je 25 °C.

Potrebno je izračunati ukupni toplinski tok koji odaje cijev po metru svoje duljine! Na kojoj će dubini (mjereno od vanjske površine) temperatura biti 60 °C? Kolika je na tom polumjeru derivacija $d\vartheta/dr$?

5. ZADATAK

Protusmjerni je izmjenjivač topline izveden kao snop od 30 spojenih čeličnih cijevi promjera 20/24 mm ukupne duljine 6 m. U tom se izmjenjivaču zagrijava 2,2 kg/s vode od 12 °C na 38 °C. Toplinski tok za zagrijavanje predaje druga struja vode koja se prolaskom kroz cijevi ohladi za 20 °C. Koeficijent prijelaza topline u cijevi iznosi 1000 W/m^2·K, a oko cijevi 650 W/m^2·K. Potrebno je izračunati kolika je ulazna i izlazna temperatura druge struje vode. Kolika je razlika temperatura jače i slabije struje u izmjenjivaču na mjestu gdje je razlika temperaturnih gradijenta jače i slabije struje jednaka 1,1 °C/m?

Raspored temperatura struja prikazati u ϑ,A-dijagramu!

6. ZADATAK

Plin butan (C_4H_{10}), volumenskog protoka 2,6 m^3/h, ulazi u ložište s temperaturom 0 °C, a zrak s temperaturom 150 °C. Izgaranje je potpuno, a cijeli proces teče na tlaku 1 bar.

Potrebno je izračunati količinski protok vlažnih dimnih plinova ako ventilator dobavlja u ložište 130 m^3/h zraka. Koliko se toplinskog toka dobiva pri hlađenju od 1000 °C na 400 °C? Koliki je volumenski protok dimnih plinova pri temperaturi 1000 °C?

Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima.

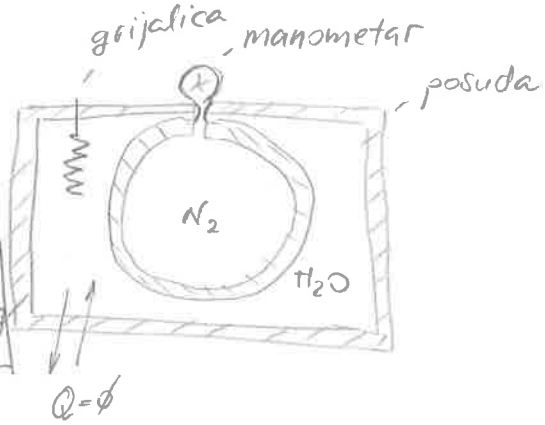
1. $\rho_č = 7800\ kg/m^3$

$c_č = 0{,}46\ kJ/kgK$ $\quad p_{ok} = 1{,}02\ bar$

$d_v = 0{,}206\ m$

$d_u = 0{,}2\ m$

$m_w = 5\ kg$ $\quad \vartheta_{w_1} = 15°C$ $(T_{w_1} = 288{,}15\ K)$



* $p_{D_1} = 3{,}2 + 1{,}02 = 4{,}22\ bar$ / $p_{D_2} = 4{,}9 + 1{,}02 = 5{,}92\ bar$

* apsolutni tlak dobijemo zbrajanjem manometarskog i tlaka okoliša!

$P_g = 2\ kW$

$t = ?$ $\quad p_{D_2} = 4{,}9 + 1{,}02 = 5{,}92\ bar$

$T_{w_2} = ?$

$V_u = V_D = \frac{4}{3} \cdot r_u^3 \pi = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{0{,}2}{2}\right)^3 \cdot \pi = 4{,}1888 \cdot 10^{-3}\ m^3$ ⇒ volumen dušika u boci

$V_v = \frac{4}{3}\ r_v^3 \pi = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{0{,}206}{2}\right)^3 \pi = 4{,}5772 \cdot 10^{-3}\ m^3$ ⇒ vanjski volumen

$V_č = V_v - V_u = 4{,}5772 \cdot 10^{-3} - 4{,}1888 \cdot 10^{-3} = 0{,}3884 \cdot 10^{-3}\ m^3$ ⇒ volumen čelične boce

$m_č = \rho_č \cdot V_č = 7800 \cdot 0{,}3884 \cdot 10^{-3} = 3{,}03\ kg$

$T_{w_1} = T_{č_1} = T_{D_1}$ ⇒ temperature vode, boce i plina su jednake prije uključenja grijalice zbog ravnoteže

IZOTERMNA PROMJENA STANJA DUŠIKA U BOCI

$\frac{T_{D_2}}{T_{D_1}} = \frac{p_{D_2}}{p_{D_1}} \rightarrow T_{D_2} = T_{D_1} \cdot \frac{p_{D_2}}{p_{D_1}} = 288{,}15 \cdot \frac{5{,}92}{4{,}22} = 404{,}23\ K$ $(\vartheta_{D_2} = 131{,}1°C)$

$p_{D_1} \cdot V_D = N_D R_m \cdot T_{D_1} \rightarrow N_D = \frac{p_{D_1} \cdot V_D}{R_m \cdot T_{D_1}} = \frac{4{,}22 \cdot 10^5 \cdot 4{,}1888 \cdot 10^{-3}}{8314 \cdot 288{,}15} = 7{,}3786 \cdot 10^{-4}\ kmol$

$c_{mv_D} = c_{up_D} - R_m = 29{,}115 - 8{,}314 = 20{,}801\ kJ/kmolK$

$Q_g = U_{w_2} - U_{w_1} + U_{č_2} - U_{č_1} + U_{D_2} - U_{D_1}$ $\quad \boxed{T_{w_2} = T_{č_2} = T_{D_2} = 404{,}23\ K}$ ⇒ konačna temp. sadržaja posude

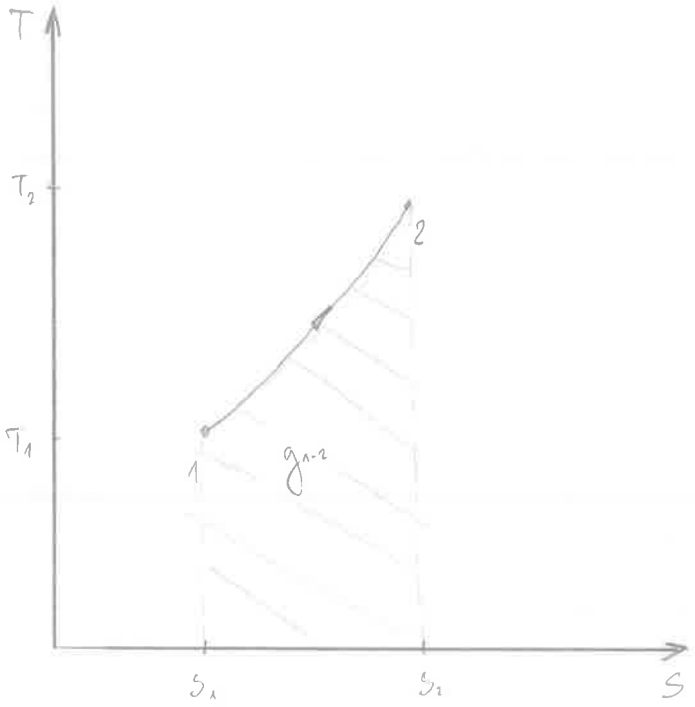
$\rightarrow 4{,}1894\ kJ/kgK$ (TT str 43.)

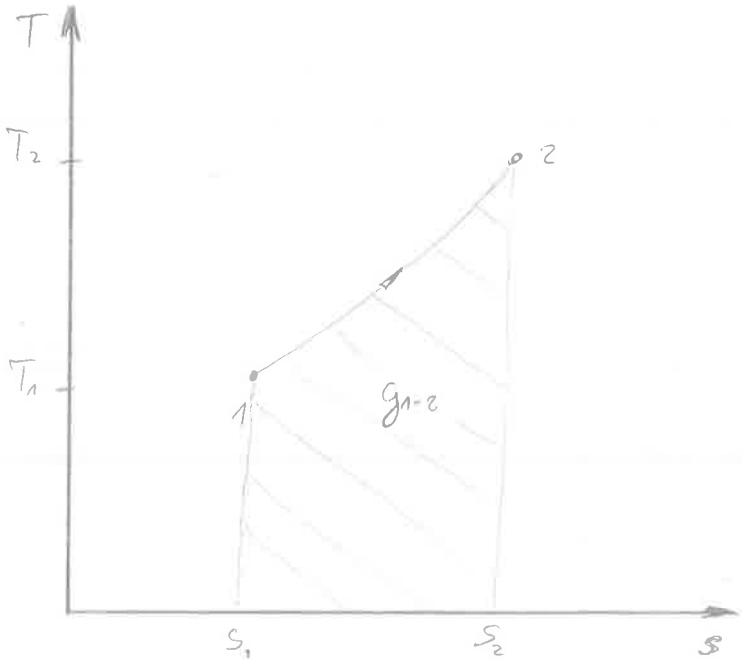
$Q_g = m_w \cdot c_w \cdot \Delta T_w + m_č \cdot c_č \cdot \Delta T_č + N_D \cdot c_{mv_D} \cdot \Delta T_D$

$Q_g = 5 \cdot 4{,}1894 \cdot (404{,}23 - 288{,}15) + 3{,}03 \cdot 0{,}46 \cdot (404{,}23 - 288{,}15) + 7{,}3786 \cdot 10^{-4} \cdot 20{,}801 \cdot (404{,}23 - 288{,}15)$

$Q_g = 2595{,}1\ kJ$

$\Phi_g = \frac{Q_g}{t} \rightarrow t = \frac{Q_g}{\Phi_g} = \frac{2595{,}1}{2} = 1297{,}65 = 21{,}6\ min$





STRMIJE

$$\left(\frac{\partial T}{\partial s}\right) = \frac{T}{C_v}$$

NAGIB U T,s dijagramu

$C_{v\check{c}} < C_{v,\text{DUŠIKA}}$

2. $c_{up} = 30{,}18\ kJ/kmol\,K$

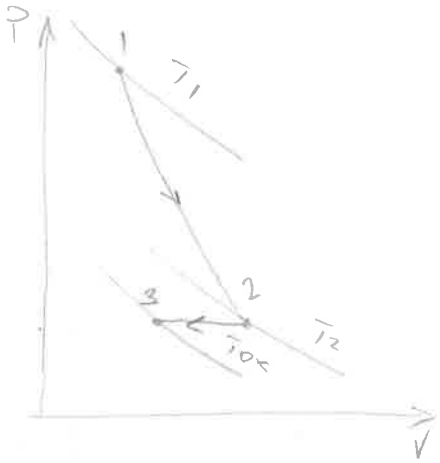
$q_n = 0{,}73\ kmol/min = 0{,}01217\ kmol/s$

$p_1 = 5{,}5\ bar$

$p_2 = p_{ok} = 1{,}02\ bar$

$\vartheta_{ok} = 0°C \quad (T_{ok} = 273{,}15\ K)$

$P_{12} = 65\ kW$



$T_1 = ? \quad T_2 = ? \quad \dot{\Phi}_{ok} = ? \quad q_{v1} = ? \quad q_{v2} = ?$

$$\varkappa = \frac{c_{up}}{c_{mv}} = \frac{c_{up}}{c_{up} - R_m} = \frac{30{,}18}{30{,}18 - 8{,}314} = 1{,}3697$$

$$P_{12} = q_n \cdot c_{up} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\varkappa}{\varkappa - 1}} \quad (2)$$

} 2 jednadžbe, 2 nepoznanice

iz (1) $\rightarrow T_1 = \frac{P_{12}}{q_n c_{up}} + T_2$

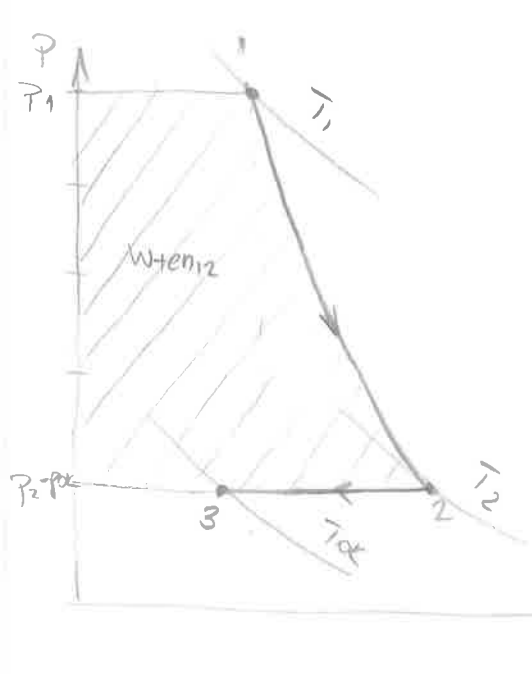
↳ uvrstimo u (2) $\rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{\frac{P_{12}}{q_n \cdot c_{up}} + T_2}\right)^{\frac{\varkappa}{\varkappa - 1}}$ SOLVE $\rightarrow T_2 = 301{,}14\ K$

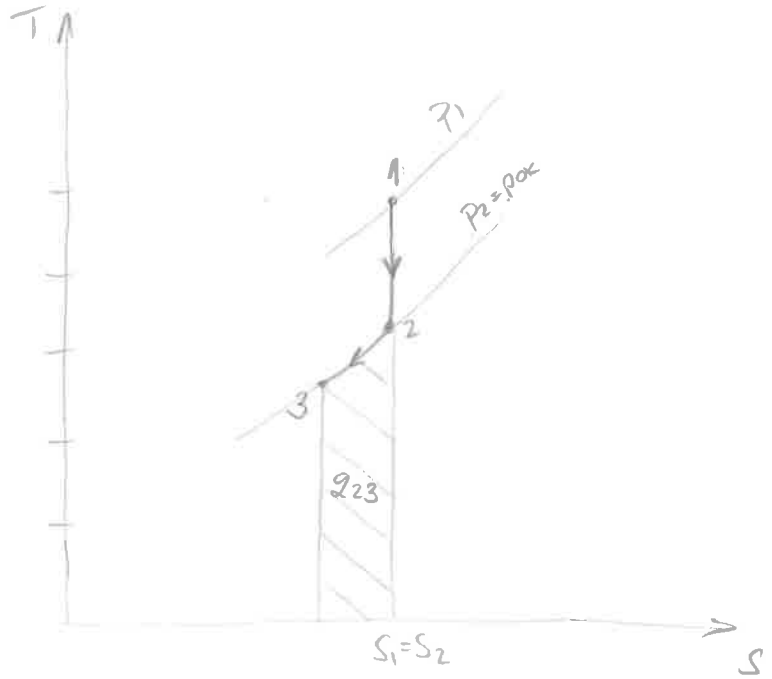
$T_1 = 474{,}55\ K$

$$\dot{\Phi}_{ok} = q_n \cdot c_{mp} \cdot (T_2 - T_{ok}) = 0{,}01217 \cdot 30{,}18 (301{,}14 - 273{,}15) = 10{,}49\ kW$$

$$q_{v1} = \frac{q_n \cdot R_m \cdot T_1}{p_1} = \frac{0{,}01217 \cdot 8314 \cdot 474{,}55}{5{,}5 \cdot 10^5} = 0{,}0873\ m^3/s$$

$$q_{v2} = \frac{q_n \cdot R_m \cdot T_2}{p_2} = \frac{0{,}01217 \cdot 8314 \cdot 301{,}14}{1{,}02 \cdot 10^5} = 0{,}2987\ m^3/s$$





3. $d_u/d_v = 210/220$ mm

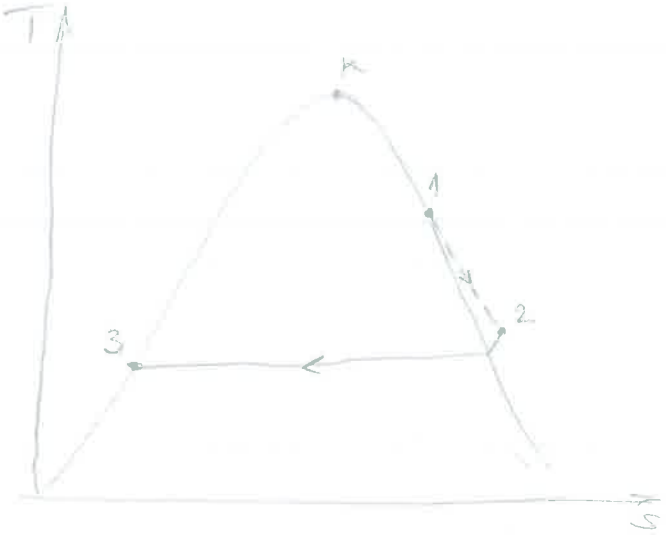
$\dot{g}_m = 2100$ kg/s

$p_1 = 8$ bar

$w = 3$ m/s

$\vartheta_2 = 120$ °C

$\vartheta_{w_1} = 50$ °C $\quad \vartheta_{w_2} = 70$ °C



(1)

ZADATAK JE KRIVO ZADAN.

STANJE PREGRIJANE PARE NE MOŽE SE ODREDITI NA TEMELJU MASENOG PROTOKA JER VRIJEDNOST SPECIFIČNOG VOLUMENA KOJA SE DOBIJE NE POSTOJI U TT.

$$\dot{g}_m = \frac{A \cdot w}{v}$$

$$v = \frac{A \cdot w}{\dot{g}_m}$$

4. $a = 5 = 0{,}4\ m$

$\varepsilon_z = 0{,}9$

$\vartheta_z = 20°C$

$d_1 = 0{,}054\ m$

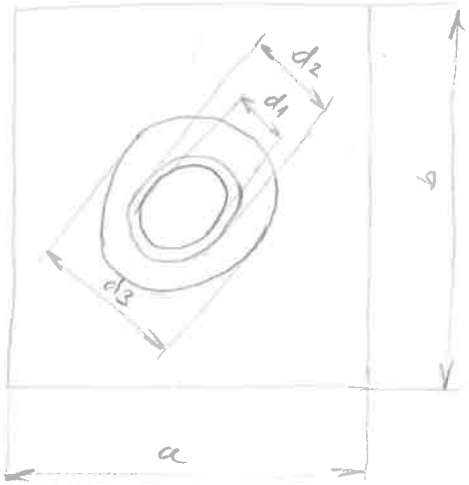
$d_2 = 0{,}06\ m$

$\delta_i = 40\ mm \rightarrow d_3 = d_2 + 2\delta_i = 0{,}14\ m$

$\lambda_i = 0{,}043\ W/mK$

$\varepsilon_L = 0{,}2 \quad \vartheta_L = 40°C$

$\vartheta_{ze} = 25°C$



$\frac{\Phi_{uk}}{L} = ?\quad \delta_x = ?\quad \left(\frac{d\vartheta}{dr_x}\right) = ?$

$\Phi_{uk} = \Phi_{konv} + \Phi_{zr}$

$$\Phi_{uk} = \alpha_k \cdot (\vartheta_L - \vartheta_{ze}) \cdot d_3 \pi \cdot L + \frac{A_1 C}{\frac{1}{\varepsilon_L} + w\left(\frac{1}{\varepsilon_z} - 1\right)} \left(T_L^4 - T_z^4\right) \Big/ \cdot L$$

$$\frac{\Phi_{uk}}{L} = \alpha_k (\vartheta_L - \vartheta_{ze}) \cdot d_3 \pi + \frac{d_3 \pi \cdot C}{\frac{1}{\varepsilon_L} + w\left(\frac{1}{\varepsilon_z} - 1\right)} \left(T_L^4 - T_z^4\right)$$

SLOBODNA KONVEKCIJA

$$Gr = \frac{\rho_0 - \rho_s}{\rho_s} \cdot \frac{g \cdot d_3^3}{\nu_s^2}$$

ρ_0 - gustoća zraka na temp. (ϑ_z) zraka $\quad \nu_s$ - kin. žilavost na temp. ϑ_L

ρ_s - gustoća zraka na temp. (ϑ_L) lima

TT. str. 41

$\rho_0 = 1{,}1688\ kg/m^3$ (interpolirano za 25°C)

$\rho_s = 1{,}1125\ kg/m^3$

POGLEDAJ PODLOGE ZA VJEŽBE IZ UUT STR. 126!

$$\nu_s = \frac{\mu_s}{\rho_s} = \frac{19{,}148 \cdot 10^{-6}}{1{,}1125} = 1{,}72 \cdot 10^{-5}\ m/s^2$$ uvršteno za $\vartheta_M = \frac{\vartheta_L + \vartheta_{ZR}}{2}$!

$$Gr = \frac{1{,}1688 - 1{,}1125}{1{,}1125} \cdot \frac{9{,}81 \cdot 0{,}14^3}{(1{,}72 \cdot 10^{-5})^2} = 4604734{,}5$$

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} = \frac{18{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}0068 \cdot 10^3}{26{,}48 \cdot 10^{-3}}$$

$Pr = 0{,}7148$

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot d_3}{\lambda} = 0{,}141 \sqrt[4]{(Gr \cdot Pr)}$$

$$\alpha_k = \frac{\lambda}{d_3} \cdot 0{,}141 \cdot \sqrt[4]{(Gr \cdot Pr)} = \frac{26{,}48 \cdot 10^{-3}}{0{,}14} \cdot 0{,}141 \cdot \sqrt[4]{4604734{,}5 \cdot 0{,}7148}$$

$\alpha_k = 3{,}3\ W/m^2K \rightarrow$ koef. konvektivnog prijelaza topline

$\omega = \frac{A_L}{A_{2ekv}}$ A_1 - vanjska površina cijevi

A_{2ekv} - površina kanala → ekvivalentna površina (vidit podloge str. 123)

$\omega = \frac{0,14 \cdot \pi \cdot K}{4 \cdot 0,4 \cdot K} = 0,275$ $\quad d_{ekv} = \frac{4a^2}{4a} = 0,4\,m$

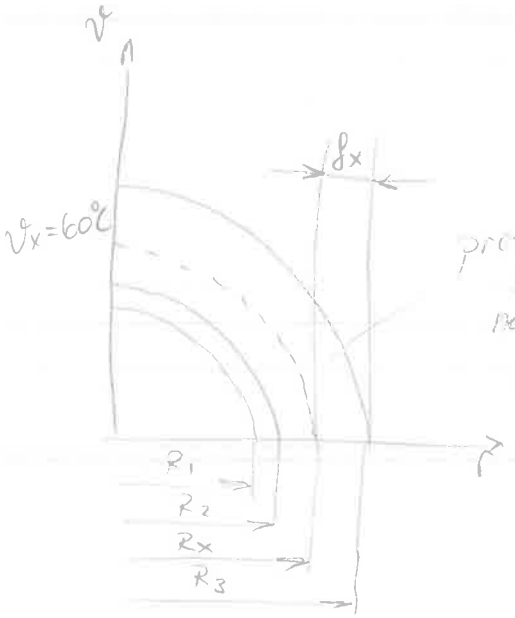
3C,81

$$\frac{\Phi_{UK}}{L} = 3,3 \cdot (40-25) \cdot 0,14\pi + \frac{0,14\pi \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0,2} + 0,275 \cdot \left(\frac{1}{0,9} - 1\right)} \cdot (313,15^4 - 293,15^4)$$

$$\frac{\Phi_{UK}}{L} = 32,83\ W/m$$

$\delta_x = ?$

$$\frac{\Phi_{UK}}{L} = \frac{(\vartheta_x - \vartheta_L) \cdot 2\pi}{\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{R_3}{R_x}}$$ → sve znamo osim R_x



pretpostavka: temp. od 60°C se neka negdje unutar izolacije

SOLVE $R_x = 0,059\ m$

$\delta_x = R_3 - R_x = 0,011\ m$

$q = -\lambda \frac{d\vartheta}{dr}$

$q = \frac{\Phi}{A}$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial r} = -\frac{\Phi}{A \cdot \lambda} = -\frac{\Phi}{L \cdot 2\pi \cdot R_x \cdot \lambda}$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial r} = -\frac{32,83}{2\pi \cdot 0,059 \cdot 0,043}$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial r} = -2059,5\ °C/m$$

5. $\dot{m}_1 = 250\ t/h = 250 \cdot \frac{1000}{3600} = 69{,}44\ kg/s$

$\vartheta_1' = 60°C \quad \vartheta_1'' = 80°C$

$n = 110$

$d_u / d_v = 32/38\ mm$

$\lambda_č = 58\ W/mK$

$p_p = 5\ bar \rightarrow \vartheta_p = 151{,}84°C$ (TT str. 6.)

$k_v = 2500\ W/m^2K$

---

a) $\Phi = ? \quad \dot{m}_p = ? \quad L = ?$

$C_1 = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \qquad c_{p1}$ (za $\vartheta = 70°C$) $= 4{,}1882\ kJ/kgK$ (TT str. 43)

$C_1 = 69{,}44 \cdot 4188{,}2 = 290828{,}6\ \frac{W}{K}$

$\Phi = C_1 \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1') = 290828{,}6 \cdot (80 - 60) = 5816{,}57\ kW$

$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_p} = \frac{60 - 80}{60 - 151{,}84} = 0{,}2178$

$\Pi_3 = 0$ (struja 2 kondenzira $C_2 \rightarrow \infty$)

$\Pi_2 = -\ln(1 - \Pi_1) = -\ln(1 - 0{,}2178) = 0{,}2456$

$\Pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1} = \frac{k_v \cdot d_v \pi \cdot n \cdot L}{C_1} \rightarrow L = \frac{\Pi_2 \cdot C_1}{k_v \cdot d_v \pi \cdot n} = \frac{0{,}2456 \cdot 290828{,}6}{2500 \cdot 0{,}038 \pi \cdot 110}$

$L = 2{,}18\ m$

$\Phi = \dot{m}_p \cdot (h_{szp} - h_{vk})$ očitano za 5 bar TT str. 6. ($h_{szp} = h''$, $h_{vk} = h'$)

$\dot{m}_p = \frac{\Phi}{h_{szp} - h_{vk}} = \frac{5816{,}57}{2748{,}11 - 640{,}19} = 2{,}76\ kg/s$

b) $q = \frac{\Phi}{A_v} = \frac{5816{,}57 \cdot 10^3}{0{,}038 \pi \cdot 110 \cdot 2{,}18} = 203181{,}57\ W/m^2$

$\Phi = k_v \cdot A_v \cdot (\vartheta_p - \vartheta_{1sr})$

$\vartheta_{1sr} = \vartheta_p - \frac{\Phi}{k_v A_v} = 151{,}84 - \frac{5816{,}57 \cdot 10^3}{2500 \cdot 0{,}038 \pi \cdot 110 \cdot 2{,}18}$

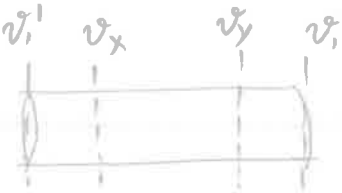
$\vartheta_{1sr} = 69{,}57°C$

c) max. gradijent je na ulazu slabije struje jer je veća razlika temp. $\vartheta_p - \vartheta_1'$, a minimalni na izlazu ($\vartheta_p - \vartheta_1' > \vartheta_p - \vartheta_1''$)

$$C_1 \cdot d\vartheta_1 = k_v \cdot (\vartheta_p - \vartheta_1') \cdot d_v\pi \cdot n \cdot dL$$

$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dL}\right)_{MAX} = \frac{k_v \cdot (\vartheta_p - \vartheta_1') \cdot d_v\pi \cdot n}{C_1} = \frac{2500 \cdot (151,84 - 60) \cdot 0,038\pi \cdot 110}{2908216} = 10,37\ °C/m$$

$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dL}\right)_{MIN} = \frac{k_v \cdot (\vartheta_p - \vartheta_1'') d_v\pi \cdot n}{C_1} = 8,11\ °C/m$$



ϑ_x - temp. na kraju prve četvrtine slabije struje (struje 1)

d) $\Pi_2^* = \frac{1}{4}\Pi_2 = 0,0614 \Rightarrow \Pi_1^* = 1 - e^{-\Pi_2^*}$

$\Pi_1^* = 0,0596$

$$\Pi_1^* = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_x}{\vartheta_1' - \vartheta_p} \Rightarrow \vartheta_x = \vartheta_1' - \Pi_1^*(\vartheta_1' - \vartheta_p) = 65,47\ °C$$

$$\Phi^* = C_1 (\vartheta_x - \vartheta_1') = 1590,832\ kW \Rightarrow$$ topl. tok izmjenjen na prvoj četvrtini izmjenjivača

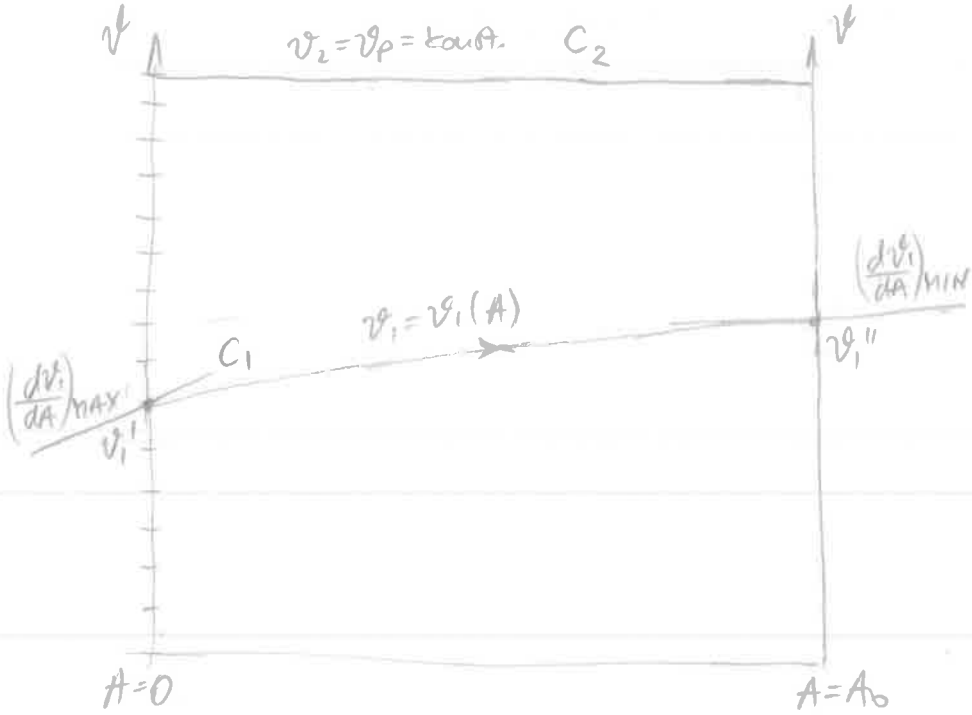
$\Pi_2^{**} = \frac{3}{4} \cdot \Pi_2 = 0,1842$

$\Pi_1^{**} = 1 - e^{-\Pi_2^{**}} = 0,1682$

$$\Pi_1^{**} = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_y}{\vartheta_1' - \vartheta_p} \Rightarrow \vartheta_y = \vartheta_1' - \Pi_1^{**} \cdot (\vartheta_1' - \vartheta_p) = 75,45\ °C \rightarrow$$ temp na tri četvrtine slabije struje

$$\Phi^{**'} = C_1 \cdot (\vartheta_y - \vartheta_1') = 4493,3\ kW \rightarrow$$ topl. tok izmjenjen u prve 3/4 površine izmjenjivača

$$\Phi^{**} = \Phi - \Phi^{**'} = 5816,57 - 4493,3 = 1323,27\ kW \Rightarrow$$ topl. tok izmjenjen na zadnjoj četvrtini površine!



6. $\dot{V}_{vG} = 2{,}6\ m^3/h$

$\vartheta_G = 0°C$

$\vartheta_z = 150°C$

$p = 1\ bar$

$\dot{V}_z = 130\ m^3/h$

$1\ kmol\ C_4H_{10} + 6{,}5\ kmol\ O_2 \longrightarrow 4\ kmol\ CO_2 + 5\ kmol\ H_2O$

$O_{min} = 6{,}5\ kmol/kmol$

$n_{CO_2} = 4\ kmol/kmol$

$n_{H_2O} = 5\ kmol/kmol$

$\dot{n}_{vap} = ?$

$\Phi = ?\quad \vartheta_{izg} = 1000°C\quad \vartheta_{ne} = 400°C$

$\dot{V}_{vap} = ?\quad (\vartheta_{vp} = 1000°C)$

$\dot{n}_z = Z_{stv} \cdot \dot{n}_G$

$\dot{n}_z = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0{,}21}\, \dot{n}_G$

$\lambda = \frac{\dot{n}_z}{\dot{n}_G} \cdot \frac{0{,}21}{O_{min}}$

$\dot{n}_z = \frac{p \cdot \dot{V}_z}{R_m T_z} = \frac{10^5 \cdot \frac{130}{3600}}{8314 \cdot 423{,}15} = 1{,}026 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$\dot{V}_{IG} = \frac{p \cdot \dot{V}_G}{R_m \cdot T_G} = \frac{10^5 \cdot \frac{2{,}6}{3600}}{8314 \cdot 273{,}15} = 3{,}18 \cdot 10^{-5}\ kmol/s$

$\lambda = \frac{1{,}026 \cdot 10^{-3}}{3{,}18 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{0{,}21}{6{,}5} = \underline{1{,}042}$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min} = (1{,}042 - 1) \cdot 6{,}5 = 0{,}273\ kmol/kmol$

$n_{N_2} = 0{,}79 \cdot Z_{stv} = 0{,}79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0{,}21} = 25{,}48\ kmol/kmol$

$n_{vap} = n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{N_2} = 34{,}75\ kmol/kmol$

$\dot{n}_{vap} = n_{vap} \cdot \dot{n}_G = 34{,}75 \cdot 3{,}18 \cdot 10^{-5} = \underline{1{,}105 \cdot 10^{-3}\ kmol/s}$

$\left[c_{pO_2}\right]_{400}^{1000} = \frac{\left[c_{pO_2}\right]_0^{1000} \cdot 1000 - \left[c_{pO_2}\right]_0^{400} \cdot 400}{1000 - 400} = 34{,}61\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pN_2}\right]_{400}^{1000} = 32{,}45\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pCO_2}\right]_{400}^{1000} = 53{,}49\ kJ/kmolK$

$\left[c_{pH_2O}\right]_{400}^{1000} = 40{,}97\ kJ/kmolK$

$\sum n_i \left[c_{pi}\right]_{400}^{1000} = n_{O_2} \cdot \left[c_{pO_2}\right]_{400}^{1000} + n_{N_2} \cdot \left[c_{pN_2}\right]_{400}^{1000} + n_{H_2O} \cdot \left[c_{pH_2O}\right]_{400}^{1000} + n_{CO_2} \cdot \left[c_{pCO_2}\right]_{400}^{1000}$

$\sum n_i \left[c_{pi}\right]_{400}^{1000} = 1255{,}1\ kJ/kmolK$

$\underline{\Phi} = \dot{n}_{vap} \cdot \sum n_i \left[c_{mpi}\right]_{400}^{1000} \cdot (\vartheta_{izg} - \vartheta_{ne}) = 1{,}105 \cdot 10^{-3} \cdot 1255{,}1 \cdot (1000 - 400) = \underline{832{,}13\ kW}$

$\dot{V}_{vap} = \frac{\dot{n}_{vap} \cdot R_m \cdot \bar{T}_{dp}}{p} = \frac{1{,}105 \cdot 10^{-3} \cdot 8314 \cdot 1273{,}15}{10^5} = \underline{0{,}117\ m^3/s}$

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku

Zagreb, 16. veljače 2018.

1. ZADATAK

Uspravni cilindar promjera **200** mm zatvoren je s gornje strane pomičnim stapom mase **50** kg na kojeg je postavljen uteg mase **400** kg. U cilindru se nalazi plinska smjesa molnog sastava **25** % O_2 i **75** % SO_2, temperature **20** °C, a stap je od dna cilindra udaljen **105** mm. Stanje okoliša je normalno.
Dovođenjem topline plin se u cilindru zagrije, tako da se stap podigne *za* **120** mm. Potom se uteg digne dizalicom, pa se rasterećeni stap još podigne. Zbog brzine podizanja utega taj dio procesa teče bez izmjene topline, ali se pritom ne narušavaju uvjeti ravnoteže. Na toj, konačnoj, visini stap se *učvrsti*, a plinskoj smjesi se *odvede* **2** kJ topline.
Izračunajte konačnu udaljenost stapa od dna cilindra, te veličine stanja (p, T, V) na kraju procesa! Kolika je dovedena toplina u prvom dijelu procesa? Koliki je efektivan rad plinske smjese u cilindru u cijelom procesu?
Skica procesa u *p,V*- i *T,s*-dijagramu!

2. ZADATAK

U izolirano mješalište ulaze dvije plinske struje. Prva je struja zrak tlaka **7** bar i temperature **100** °C, a druga je struja kisik tlaka **5,5** bar i temperature **70** °C. Mjerenjem sastava nastale mješavine ustanovljen je molni udio kisika u iznosu od **35** %. Mješavina se odvodi kroz cijev promjera **100** mm.
Izračunajte koliki trebaju biti volumenski protoci ulaznih struja, ako je potrebno da volumenski protok izlazne mješavine bude **1200** m^3/h pri najvećem mogućem tlaku za zadane uvjete! Kolika je brzina mješavine u izlaznoj cijevi?

3. ZADATAK

U generator pare termoenergetskog bloka ulazi pothlađena voda iz koje se pri stalnom tlaku **40** bar proizvodi pregrijana para temperature **400** °C, koja u prvom dijelu turbine izentropski ekspandira do tlaka **7** bar. Nakon toga se para vodi u međupregrijač gdje se pregrijava na **320** °C i zatim ekspandira u drugom stupnju turbine do tlaka **0,03** bar. Turbina u procesu razvija snagu **12** MW. U kondenzatoru se para potpuno ukapljuje predajom toplinskog toka rashladnoj vodi, a nastali se kondenzat dodatno pothlađuje na temperaturu **10** °C s kojom ulazi u napojnu pumpu kojom se vraća u kotao.
Izračunajte dovođeni toplinski tok, srednju temperaturu *odvođenja* topline, te termički stupanj djelovanja procesa! Koliko rashladne vode treba dovoditi za hlađenje kondenzatora, ako je dopušteno da se ona, primajući toplinski tok od pare koja kondenzira, zagrije za **10** °C. Izračunajte približnu snagu pumpe za povrat kondenzata iz kondenzatora u kotao!
Proces prikazati u *T,s*- i *h,s*-dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

4. ZADATAK

Vodoravna čelična cijev promjera **150/160** mm izolirana je s dva sloja izolacije. Prvi sloj izolacije, debljine **45** mm, nepoznate je toplinske provodnosti. Drugi sloj izolacije, debljine **50** mm, ima toplinsku provodnost λ_B = **0,95** W/(m K). Izolacija je izvana obložena tankim aluminijskim limom (ε = **0,1**), čija je temperatura izmjerena i iznosi **30** °C. Lim je u dodiru s *mirujućim* zrakom temperature **-20** °C, a okružen je velikim plohama temperature **-22** °C. Kroz cijev struji voda temperature **90** °C brzinom **0,7** m/s.
Izračunajte toplinsku provodnost prvog sloja izolacije! Kolika je temperatura dodirne plohe dvaju slojeva izolacije? Za koliko se promjeni temperatura vode prolaskom kroz **70** metara duljine cijevi?
Raspored temperatura po polumjeru *r* skicirati u *ϑ,r*-dijagramu!

5. ZADATAK

U "Shell&Tube" izmjenjivaču topline sustava daljinskog grijanja zagrijava se **250** t/h vode od **60** °C na **80** °C. Izmjenjivač je izveden kao snop od **110** čeličnih cijevi promjera d_u/d_v = **32/38** mm (λ_ε = **58** W/(m K)) na način da voda struji kroz cijevi, a suhozasićena vodena para tlaka **5** bar kondenzira oko cijevi. Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi iznosi **2500** W/ (m^2 K).

a) Potrebno je izračunati izmjenjivani toplinski tok, maseni protok pare i duljinu cijevnog snopa.
b) Izračunajte *prosječnu* gustoću toplinskog toka koji se izmjenjuje u analiziranom izmjenjivaču (izraženu po m^2 *vanjske* površine cijevi), te s njom povezanu srednju temperaturu vode.
c) Koliki je minimalni, a koliki maksimalni gradijent slabije struje u izmjenjivaču ($d\vartheta/dL$)?
d) Koliko se toplinskog toka izmijeni na prvoj (mjereno od ulaza slabije struje), a koliko na zadnjoj četvrtini površine izmjenjivača?

Raspored temperatura struja duž površine izmjenjivača skicirati u *ϑ,A*- dijagramu!

6. ZADATAK

U ložištu toplovodnog kotla za centralno grijanje potpuno izgara **10** kg/h drvne biomase masenog sastava: c = **0,38**; h = **0,04**; o = **0,32**; w = **0,25** i a = **0,01**, s pretičkom zraka od **50** %. Gorivo i zrak za izgaranje ulaze u ložište s **0** °C. Dimni plinovi odlaze u dimnjak s **200** °C, odakle se izbacuju u okoliš temperature **0** °C. Cijeli proces teče na tlaku **1** bar.
Koliko ukupno toplinskog toka predaju dimni plinovi prije izbacivanja u dimnjak? Pri kojoj temperaturi dolazi do kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova? Ako bi se iz dimnjaka uzeo uzorak dimnih plinova (stanja **200** °C i **1** bar) i ohladio u čvrstoj posudi na **0** °C tako da sva sadržana vlaga kondenzira, koliki bi bio konačni tlak u posudi?
Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima!

① 16. veljače 2018

Smjesa

$y_{O_2} = 0{,}25$

$y_{SO_2} = 0{,}75$

$C_{mp,M} = 0{,}25 \cdot 29{,}274 + 0{,}75 \cdot 38{,}854$

$C_{mp,M} = 36{,}459$ kJ/kmol K

$C_{mv,M} = 36{,}459 - 8{,}314 = 28{,}145$ kJ/kmol K

$$\varkappa = \frac{C_{mp,M}}{C_{m,v,M}}$$

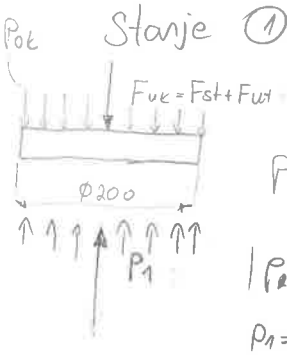
$$\varkappa = \frac{36{,}459}{28{,}145} = 1{,}2954$$

$\varkappa = ? = 1{,}2954$

izobara

izentropa

Stanje ①



$$P = \frac{F}{A}$$

$|P_{okoljeg}| = |P_1|$

$P_1 = P_{st} + P_{ut} + P_{ok}$

$$P_1 = \frac{50 \cdot 9{,}81}{0{,}1^2\pi} + \frac{400 \cdot 9{,}81}{0{,}1^2\pi} + 101325$$

$\boxed{P_1 = 2{,}4184 \text{ bar}}$

$V_1 = 0{,}1^2\pi \cdot 0{,}105$

$V_1 = 3{,}2987 \times 10^{-3}\ m^3$

$T_1 = 20°C \hat{=} 293{,}15\ K$

$P_1 V_1 = N_M R_m T_1$

$\boxed{N_M = 3{,}2732 \times 10^{-4}\ kmol}$

$N_M = N_{O_2} + N_{SO_2}$

$N_{O_2} = 8{,}183 \times 10^{-5}$ kmol

$N_{SO_2} = 2{,}455 \times 10^{-4}$ kmol

$m_M = M_M \cdot N_M$

$M_M = \sum y_i M_i = 0{,}25 \cdot 32 + 0{,}75 \cdot 64{,}06$

$M_M = 56{,}045$ kg/kmol

$\boxed{m_M = 0{,}018345\ kg}$

$m_{st} = 50$ kg

$m_{ut} = 400$ kg

Stanje ②

$$V_2 = \frac{100^2\pi \cdot (105 + 120)}{1000^3}$$

$V_2 = 7{,}0686 \times 10^{-3}\ m^3$

$P_2 = 2{,}4184$ bar

$N_M = 3{,}2732 \times 10^{-4}$ kmol

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$T_2 = \frac{293{,}15 \cdot 7{,}0686}{3{,}2987}$$

$\boxed{T_2 = 628{,}175\ K \hat{=} 355{,}02°C}$

konačna udaljenost stupa

$V_3 = 0{,}1^2\pi \cdot z_{kon}$

$z_{kon} = \frac{0{,}01239}{0{,}1^2\pi} \Rightarrow 394{,}4$ mm

$Q_{12} = Q_{dov} = N \cdot C_{m,p,M}(T_2 - T_1)$

$= 3{,}2732 \times 10^{-4} \cdot 36{,}459(628{,}175 - 293{,}15)$

$Q_{12} = 4$ kJ

$W_{uk} = W_{12} + W_{23} + W_{34}$ ($W_{34} \to 0$)

$W_{uk} = 1{,}795$ kJ

$W_{ok} = P_{ok}(V_4 - V_1)$

$W_{ok} = 1{,}01352\,(0{,}01239 - 3{,}2987 \cdot 10^{-3}) \times 10^5$

$\boxed{W_{ok} = 0{,}921\ kJ}$

$Q_{34} = N \cdot C_{m,v}(T_4 - T_3)$

$-2000 = 3{,}2732 \times 10^{-4} \cdot 28145\,(T_4 - 532{,}26)$

$\boxed{T_4 = 315{,}16\ K \hat{=} 42{,}01°C}$

$W_{12} = N \cdot R_m (T_2 - T_1)$

$W_{12} = 3{,}2732 \times 10^{-4}\ 8314(335{,}02$

$\boxed{W_{12} = 0{,}9117\ kJ}$

$W_{23} = N_M \cdot \frac{R_m}{\varkappa - 1}(T_2 - T_3)$

$W_{23} = 3{,}2732 \times 10^{-4} \cdot \frac{8314}{0{,}2954}(628{,}75 - 532{,}26)$

$\boxed{W_{23} = 0{,}8836\ kJ}$

$W_{EF} = W_{uk} - W_{ok}$

$W_{EF} = 1{,}795 - 0{,}921$

$\boxed{W_{EF} = 0{,}874\ kJ}$

Stanje ③

$$V_3 = V_2 \cdot \left(\frac{P_2}{P_3}\right)^{\frac{1}{\varkappa}}$$

$P_3 = P_2 - P_{utog}$

ili

$P_3 = \frac{50 \cdot 9{,}81}{0{,}1^2\pi} + 101325$

$\boxed{P_3 = 1{,}1694\ bar}$

$V_3 = 7{,}0686 \times 10^{-3}\left(\frac{2{,}4184}{1{,}1694}\right)^{\frac{1}{1{,}2}}$

$V_3 = 0{,}01239\ m^3$

$T_3 = T_2\left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}$

$T_3 = 628{,}175\left(\frac{1{,}1694}{2{,}4184}\right)^{\frac{0{,}2954}{1{,}2954}}$

$T_3 = 532{,}26\ K \hat{=} 259{,}1°C$

izohora

③ → ④

$Q_{34} = -2$ kJ

$V_4 = V_3 = 0{,}01239\ m^3$

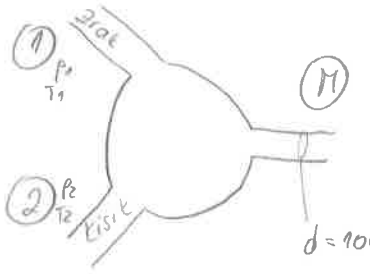
$$P_4 = \frac{T_4 P_3}{T_3} = \frac{315{,}16 \cdot 1{,}1694}{532{,}26}$$

$\boxed{P_4 = 0{,}6924\ bar}$

P
[bar]
p2=p1
p3
pok
p4
1
2
3
4
n=0
Wef
Wok
V1
V2
V4=V3
V
[m³]

T
[°C]
T2
T3
T4
T1
qodv
qdov
S
[kJ/kmolK]

(2) 16. veljače 2018



$d = 100\,mm$

$A_{iz} = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{\pi}{400}\,m^2$

Struja (1)
zrak

$p_1 = 7\,bar$
$T_1 = 100°C$
$y_{N_2} = 0{,}71$
$y_{O_2} = 0{,}29$
$c_{n,p,zr} = 29{,}073\ kJ/kmolK$
$M_{zr} = 28{,}96\ kg/kmol$
$R_{zr} = 287{,}1\ J/kgK$

Struja (2)
O_2

$p_2 = 5{,}5\,bar$
$T_2 = 70°C$
$y_{O_2} = 1$
$y_{N_2} = 0$
$c_{n,p,O_2} = 29{,}274\ kJ/kmolK$
$M = 32\ kg/kmol$
$R_{O_2} = 259{,}8\ J/kgK$

Miješavina

izoliran sustav $\Phi = 0$

$y_{O_2} = 0{,}35$

$q_{v,M} = \frac{1200\,m^3/s}{3600} = \frac{1}{3}\,m^3/s$

$p_M = 5{,}5\,bar$

$w = ?$

$q_{n,M} = q_{n1} + q_{n2}$

$y_{N_2} = 0{,}65$

$q_{n,M} = 11{,}83\ kmol/s$

$M_M = 0{,}35 \cdot 32 + 0{,}65 \cdot 28{,}016$

$M_M = 29{,}4104\ kg/kmol$

$R_{sm} = \frac{R_m}{M_M} = \frac{8314}{29{,}4104} = 282{,}69\ J/kgK$

$c_{n,p,sm} = 0{,}35 \cdot 29{,}274 + 0{,}65 \cdot 29{,}115$

$c_{n,p,sm} = 29{,}1707\ kJ/kmolK$

a) $q_{v1} = \frac{q_{n1} \cdot R_m \cdot T_1}{p_1}$

$q_{v1} = \frac{0{,}04933 \cdot 8314 \cdot 373{,}15}{7 \times 10^5}$

$q_{v1} = 0{,}2186\ m^3/s$

$q_{v2} = \frac{q_{n2} \cdot R_m \cdot T_2}{p_2}$

$q_{v2} = \frac{0{,}01063 \cdot 8314 \cdot 343{,}15}{5{,}5 \times 10^5}$

$q_{v2} = 0{,}0552\ m^3/s$

$q_{n1} \cdot 0{,}21 + q_{n2} \cdot 1 = 0{,}35\, q_{n,M}$ (*)

$q_{n1} \cdot 0{,}79 = 0{,}65\, q_{n,M}$ /:0,79 (**)

$q_{n1} = 0{,}8228\, q_{n,M} \Rightarrow q_{n,M} = 1{,}2154\, q_{n1}$

$q_{n1} + q_{n2} = q_{n,m} \Rightarrow q_{n2} = 0{,}2154\, q_{n1}$

$T_M = \frac{\Phi_{1-2} + q_{n1} \cdot c_{mp,zr} \cdot T_1 + q_{n2} \cdot c_{mp,O_2} \cdot T}{q_{n1} \cdot c_{mp,zr} + q_{n2} \cdot c_{mp,O_2}}$

$T_M = \frac{\Phi_{1-2} + q_{n1} \cdot c_{mp,zr} \cdot T_1 + 0{,}2154\, q_{n1} \cdot c_{mp,}}{q_{n1} \cdot c_{mp,zr} + 0{,}2154 \cdot q_{n1} \cdot c_{mp,}}$

izlučimo q_{n1} i pokratimo ga

$T_M = \frac{[C_{mp,zr}]_0^{100} T_1 + 0{,}2154 \cdot c_{mp,O_2} \cdot T_2}{c_{mp,zr} + 0{,}2154 \cdot c_{mp,O_2}}$

$T_M = \frac{29\,153 \cdot 373{,}15 + 0{,}2154 \cdot 29459 \cdot 343{,}}{29{,}153 + 0{,}2154 \cdot 29459}$

$\boxed{T_M = 367{,}8\ K}$

$A \cdot w = q_{v,M}$ (poprečni presjek)

$w_M = \frac{\frac{1200}{3600}}{\frac{0{,}1^2 \cdot \pi}{4}}$

$w_M = 42{,}44\ m/s$

$q_{n,m} = \frac{p_M \cdot q_{v,M}}{T_M \cdot R_m}$

$q_{n,m} = \frac{5{,}5 \cdot 10^5 \cdot 0{,}3333}{367{,}8 \cdot 8314}$

$\boxed{q_{n,m} = 0{,}05995\ \frac{kmol}{s}}$

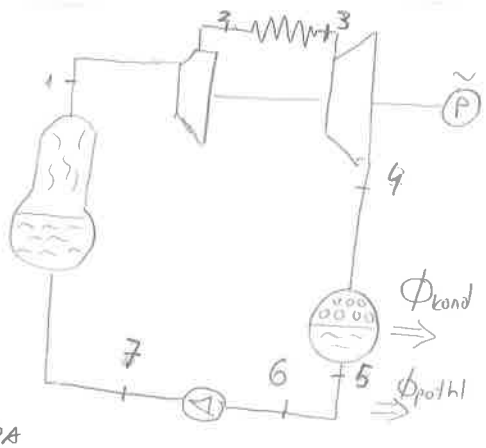
$q_{n1} = 0{,}8228\, q_{n,m}$

$\boxed{q_{n1} = 0{,}04933\ \frac{kmol}{s}}$

$q_{n2} = 0{,}2154 \cdot q_{n1}$

$\boxed{q_{n2} = 0{,}01063\ \frac{kmol}{s}}$

③ 16. veljače 2018



Stanje ①
$p_1 = 40$ bar
$T_1 = 400°C$
$s_1 = 6,7712$ kJ/kgK
$h_1 = 3214,37$ kJ/kg

IZENTROPA

Stanje ② — IZOBARA → Stanje ③ — IZENTROPA ($P_{34} = 12$ MW) → Stanje ④ IZOBARA (KONDENZACIJA)

Stanje ②
$s_2 = s_1 = 6,7712$ kJ/kgK
$p_2 = 7$ bar
$h_2 \cong 2791,31$ kJ/kg (interpolacijo)

Stanje ③
$p_3 = p_2 = 7$ bar
$T_3 = 320°C$
$h_3 = 3101,36$ kJ/kg
$s_3 = 7,3713$ kJ/kgK

Stanje ④
$p_4 = 0,03$ bar
$T_4 = 24,08°C$
$s_4 = s_3 = 7,3713$ kJ/kgK
$x_4 = \frac{s_4 - s_4'}{s_4'' - s_4'}$
$x_4 = \frac{7,3713 - 0,3543}{8,5766 - 0,3543}$
$x_4 = 0,8534$
$h_4 = 100,99 + 0,8534 \cdot 2443,89$
$h_4 = 2186,632$ kJ/kg

Stanje ⑤ — IZOBARA (POTROŠNIK) → Stanje ⑥ — IZENTROPA

Stanje ⑤
$p_5 = 0,03$ bar
$T_5 = 24,08°C$
$h_5 = 100,99$ kJ/kg

Stanje ⑥
$p_6 = 0,03$ bar
$T_6 = 10°C$
$h_6 \cong 42$ kJ/kg
$s_6 = 0,1511$ kJ/kgK

→ Stanje ⑦
$p_7 = 40$ bar
$s_7 = s_6 = 0,1511$ kJ/kgK
$h_7 \cong 45,9$ kJ/kgK

$P_t = q_m(h_1 - h_2) + q_m(h_3 - h_4)$

$P_t = q_m(h_1 - h_2 + h_3 - h_4)$

$q_m = \frac{12 \times 10^3}{3214,37 - 2791,31 + 3101,36 - 2186,632}$

$q_m = 8,97$ kg/s

$T_{sr,odv} = \frac{\phi_{46}}{(s_6 - s_4) \cdot q_m}$

$T_{sr,odv} = \frac{-19237,35}{8,97(0,1511 - 7,3713)}$

$T_{sr,odv} = 297$ K

$\phi_{dov} = \phi_{71} + \phi_{23}$

$\phi_{dov} = q_m(h_1 - h_7) + q_m(h_3 - h_2)$

$\phi_{dov} = 8,97(3214,37 - 45,9) + 8,97(3101,36 - 2791,31)$

$\phi_{dov} = 31,202$ MW

$\phi_{odv} = \phi_{kond} + \phi_{potH}$

$\phi_{odv} = q_m(h_5 - h_4) + q_m(h_6 - h_5)$

$\phi_{odv} = 8,97(42 - 2186,632)$

$\phi_{odv} = -19237,349$ kW $\approx -19,237$ MW

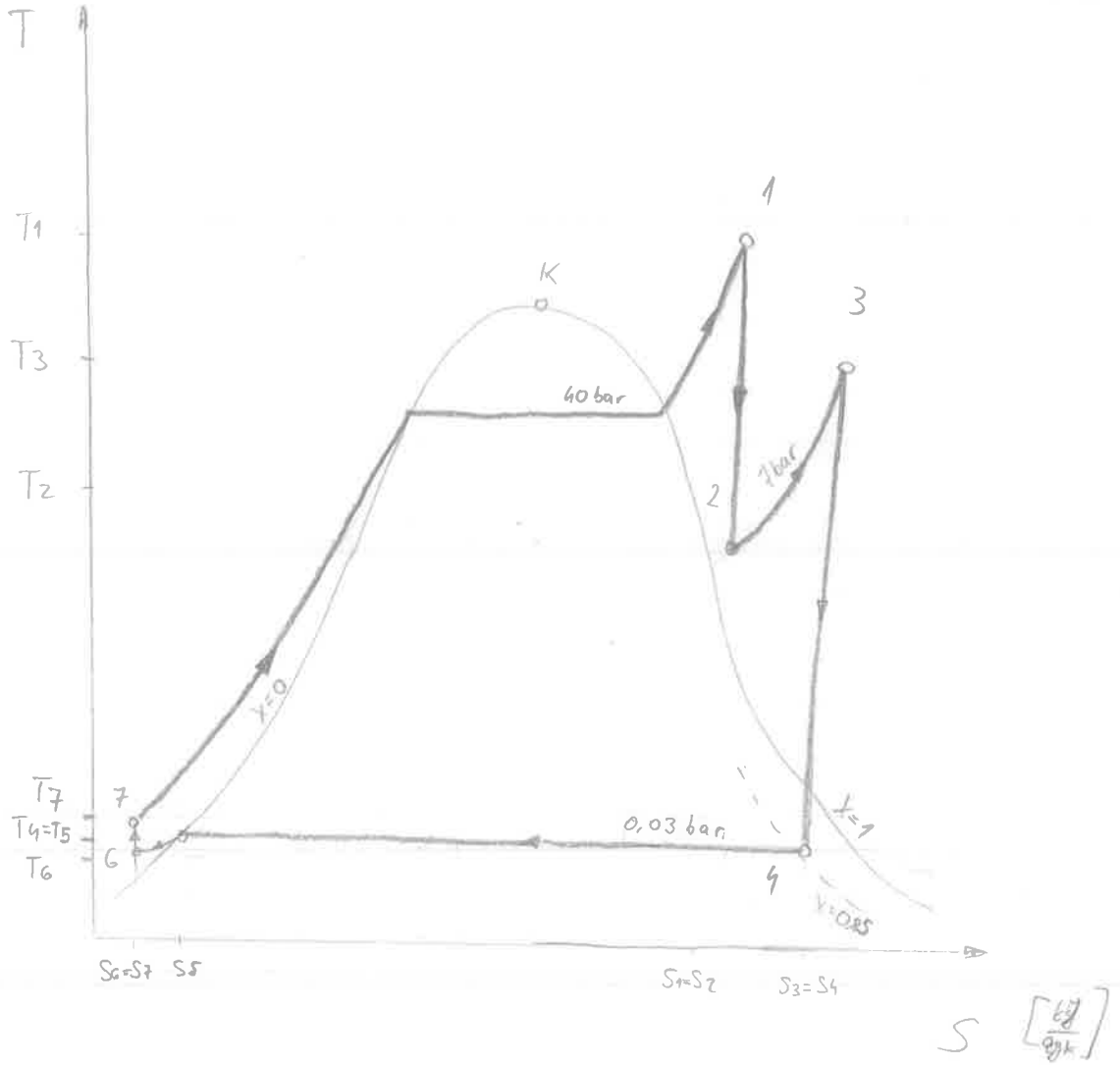
$\eta = 1 - \frac{|\phi_{odv}|}{\phi_{dov}} = 1 - \frac{19,237}{31,202} \Rightarrow \eta = 0,383$

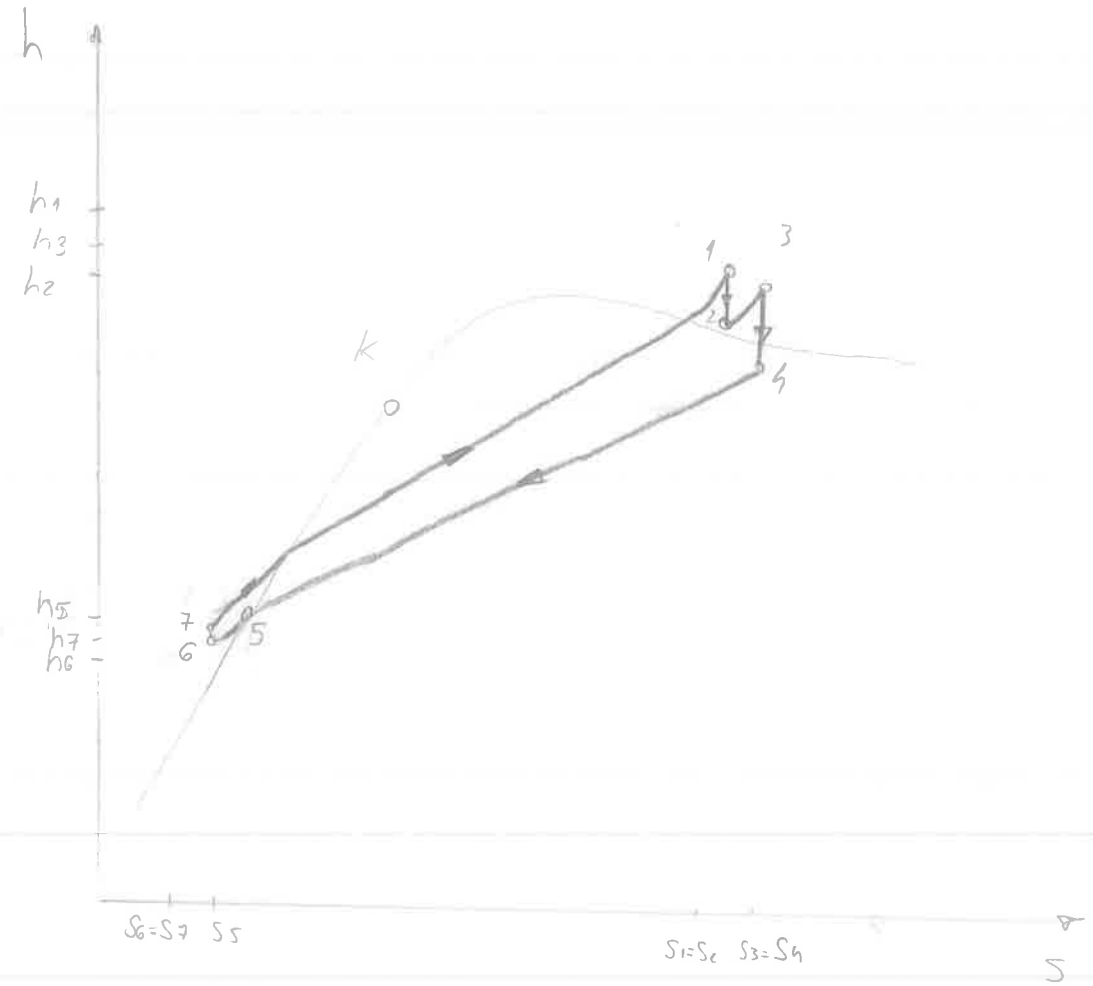
$P_{pumpe} = q_m(h_6 - h_7)$

$P_{pumpe} \cong -34,983$ kW

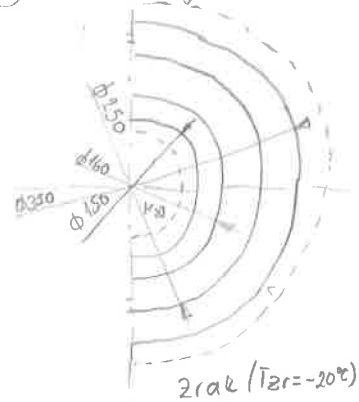
$\eta = \frac{P_t - P_{pumpe}}{\phi_{dov}} = \frac{12 - 0,034983}{31,202} \Rightarrow \eta = 0,383$ ✓✓

$\phi_{rw} = -\phi_{kond}$ $\quad \phi_{rw} = q_{m,rw} \cdot c_w \cdot 10$ $\quad q_{m,rw} = \frac{18708,209}{10 \cdot 4,187} \Rightarrow q_{m,rw} = 446,82$ kg/s


T
T1
T3
T2
T7
T4=T5
T6
1
K
3
40 bar
2
1 bar
7
x=0
6
0,03 bar
4
x=1
x=0,85
s6=s7
s5
s1=s2
s3=s4
s
[kJ/kgK]


h
h1
h3
h2
1
3
2
k
4
h5
h7
h6
7
6
5
s6=s7
s5
s1=s2
s3=s4
s

(4) 16 veljače 2018



$d_1 = \frac{150}{1000}$ m $\quad r_1 = 0{,}075$ m $\quad \lambda_č = 58$ W/mK

$d_2 = \frac{160}{1000}$ m $\quad r_2 = 0{,}08$ m

$d_3 = \frac{250}{1000}$ m $\quad r_3 = 0{,}125$ m $\quad \lambda_B = 0{,}95$ W/mK

$d_4 = \frac{350}{1000}$ m $\quad r_4 = 0{,}175$ m

zrak ($T_{zr} = -20°C$) $\varepsilon = 0{,}1$

$\alpha_u = ?$ $\quad T_{zid} = -22°C$

$\alpha_v = ?$

$T_4 = 30°C$

$L = 70$ m

Zračenje (model obuhvaćenog tijela)

$\omega = 0$

$\Phi_{zr} = \varepsilon \cdot A \cdot C \left(T_4^4 - T_{zid}^4 \right)$

$\Phi_{zr} = 0{,}1 \cdot 0{,}350\pi \cdot 70 \cdot 5{,}67 \times 10^{-8} (303{,}15^4 - 251{,}15^4)$

$\Phi_{zr} = 1949{,}45$ W

$\Phi_{zr} = A \cdot \alpha_{zr} (T_4 - T_{zid})$

$\alpha_{zr} = 0{,}4871$ W/m²K

$\alpha_v = \alpha_v' + \alpha_{zr}$

$\alpha_v = 4{,}02$ W/m²K

$\Phi_{1-2} = 2\pi L (\vartheta_4 - \vartheta_{zr}) \cdot \alpha_v \cdot r_4$

$\Phi_{12} = 2\pi \cdot 70 (30 + 20) \cdot 4{,}02 \cdot 0{,}175$

$\Phi_{12} = 15\,470{,}78$ W

$\vartheta_1 = 89{,}87°C$

$\vartheta_2 = 89{,}83°C$

$\vartheta_3 = 42{,}45°C$

$\vartheta_4 = 29{,}99°C$

$\vartheta_5 = -20{,}01°C \approx \checkmark$

$A_p = \frac{d_1^2 \pi}{4}$

$A_p = 0{,}01767$

Konvekcija

Voda (prisilna)

$T_w = 90°C$ $\quad L = 30$ m

$w = 0{,}7$ m/s $\quad d_1 = 0{,}150$ m

$Re = \frac{w \cdot d_1}{\nu}$

$Re = 322\,394{,}1$

turbulentno izobličeno

$\rho_{90} = 965{,}348$ g/m³

$\lambda_{90} = 0{,}67526$ W/mK

$\mu_{90} = 314{,}4 \times 10^{-6}$ Pas

$Pr = 1{,}9579$

$\nu = \frac{\mu_{90}}{\rho_{90}}$

$Nu = \frac{0{,}0338 \cdot Pr \cdot Re^{0{,}8}}{1 + 1{,}74\, Re^{-0{,}125} (Pr - 1)}$

$Nu = 786$

$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_1}$

$\alpha_u = 3538{,}1$ W/m²K

Zrak (slobodna)

$Gr = \frac{T_s - T_o}{T_o} \cdot \frac{g d_4^3}{\nu_s^2}$

$T_s = 30°C \triangleq 303{,}15$ K

$T_o = -20°C \triangleq 253{,}15$ K

$\nu_s = \frac{\mu_s}{\rho_s} = \frac{18{,}621 \times 10^{-6}}{1{,}1492}$

$\nu_s = 1{,}6256 \times 10^{-5}$

$Gr = 3.144 \times 10^8$

$T_m = 5°$

$Nu = 0{,}38 \sqrt[4]{Gr}$ $\quad \lambda_m = \lambda_{5°}$

$\lambda_m = 24{,}44 \times$

$Nu = 50{,}6$

$\alpha_v = \frac{Nu\, \lambda_m}{d_4} = \frac{50{,}6 \cdot 24{,}44 \times 10^{-3}}{0{,}350}$

$\alpha_u' = 3{,}533$ W/m²K

$\Phi_{12} = \frac{2\pi L (T_w - T_{zr})}{\frac{1}{r_1 \alpha_u} + \frac{1}{\lambda_č} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_x} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_B} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{1}{r_4 \alpha_v}}$

↓ solve

$\lambda_x = 0{,}3313$

provjera $\Phi \approx 15\,468$ W

$\Phi_{12} = q_m \cdot c_w \cdot \Delta T$

$\Phi_{12} = A \cdot w \cdot \rho \cdot c_w \cdot \Delta T$

$\Delta \vartheta = \frac{15\,470{,}78}{0{,}075^2 \pi \cdot 0{,}7 \cdot 965{,}34 \cdot c_{w90}}$

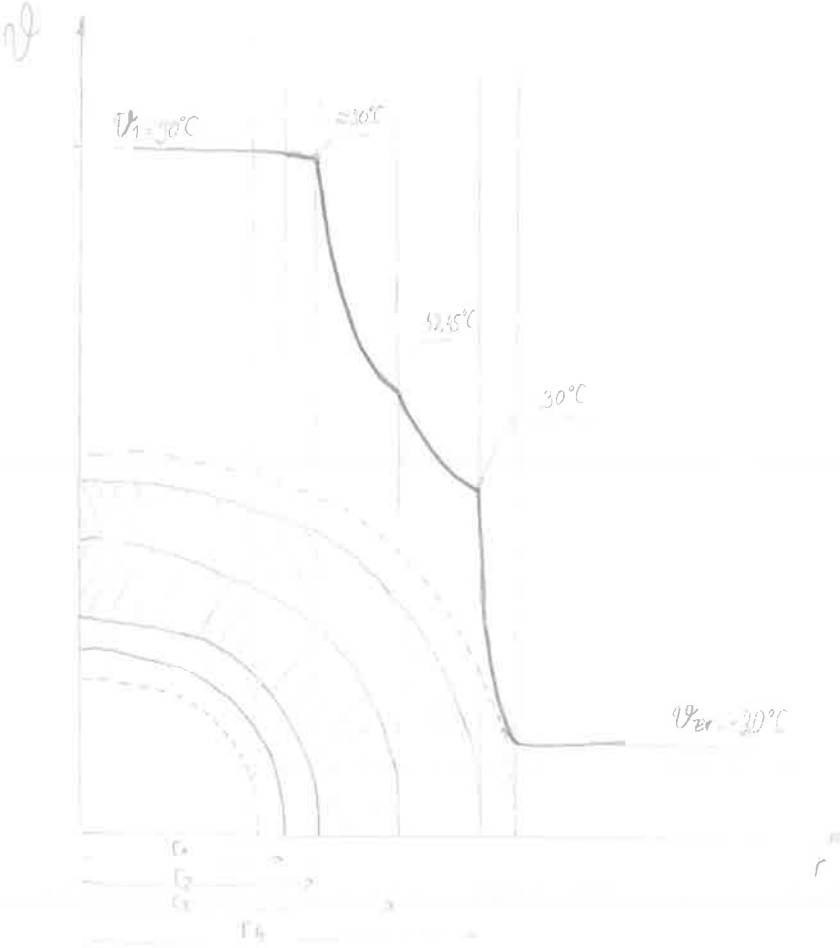
$\Delta \vartheta = 0{,}3081°C$

$q_m = \frac{Q \nu}{\nu}$

$q_m = Q \nu_1 \cdot \rho$

$q_m = A \cdot w \cdot \rho$

$c_{w90} = 4205{,}1$ J/kgK



ϑ
$\vartheta_1 = 30°C$
$\approx 30°C$
$32{,}45°C$
$30°C$
$\vartheta_{Br} = -30°C$
r

⑤ 16. veljače 2018.

izmjenjivač

$\dot{m}_a = \frac{250\,000}{3600}$

$\vartheta_1' = 60°C$

$\vartheta_1'' = 80°C$

$n = 110$

$d_u/d_v = 32/38\,mm$

$\lambda_č = 58\,W/mK$

$k_v = 2500\,W/m^2K$

(1) $\pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$

$\pi_1 = \frac{60 - 80}{60 - 151,84}$

$\pi_1 = 0,2178$

struja ①

$\dot{m}_1 = 69,44\ kg/s$

$C_1 = \dot{m}_{1,1} \cdot c_w = 69,44 \cdot 4187$

$C_1 = 290\,763,89$

struja ②

$p = 5\,bar$

$\vartheta_2' = \vartheta_2'' = \vartheta_{5bar}' = 151,84°C$

(2) $\pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1}$

(2') $\pi_2 = -\ln(1 - \pi_1) = -\ln(1 - 0,2178) \Rightarrow \pi_2 = 0,2456$

$A_v = \frac{\pi_2 \cdot C_1}{k_v} = \frac{0,2456 \cdot 290763,89}{2500}$

(3) $\pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = 0$

$C_2 \to \infty$ zbog promjene ag. stanja

$A_v = 28,565\,m^2$

$A_v = d_v \pi \cdot L \cdot n$

$L = \frac{28,565}{0,038\pi \cdot 110} \Rightarrow L = 2,175\,m$

$|\Phi_{12}| = C_1 \cdot |\vartheta_1'' - \vartheta_1'|$

$|\Phi_{12}| = 290\,763,89 \cdot 20$

$\Phi_{12} = 5815,28\ kW$

$\Phi_{12} = \dot{m}_{1p} \cdot r_{5bar}$

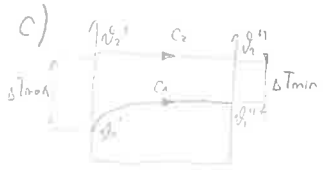
$\dot{m}_{1,p} = \frac{5815,28}{2107,92}$

$\dot{m}_{1p} = 2,759\ kg/s \cong 9931,6\ kg/h$

b) $q_{12} = \frac{|\Phi_{12}|}{A_v} = \frac{5815,28}{28,565} \Rightarrow q_{12} = 203,58\ \frac{kW}{m^2}$

$\Phi_{12} = k_v \cdot A_v \cdot (\vartheta_2' - \vartheta_{1,sr}) \Rightarrow \vartheta_{1,sr} = \vartheta_2' - \frac{\Phi_{12}}{k_v \cdot A_v} = 151,84 - \frac{5815,28}{2,5 \cdot 28,565} \Rightarrow \vartheta_{1,sr} = 70,408°C$

c)



minimalni gradijent

tod $\Delta\vartheta_{min} = (\vartheta_1'' - \vartheta_1')$

$\frac{d\vartheta_m}{dL} = \frac{k_v \cdot d_v \cdot \pi \cdot n}{C_1} (\vartheta_1'' - \vartheta_1')$

$\frac{d\vartheta_m}{dL} = 8,11\ K/m$

maksimalni gradijent

tod $\Delta\vartheta_{max} = (\vartheta_2' - \vartheta_1')$

$\frac{d\vartheta_M}{dL} = \frac{k_v \cdot d_v \cdot \pi \cdot n}{C_1} (\vartheta_2' - \vartheta_1')$

$\frac{d\vartheta_M}{dL} = \frac{2500 \cdot 0,038\pi \cdot 110}{290763,89} \cdot (151,84 - 60)$

$\frac{d\vartheta_M}{dL} = 10,37\ K/m$

d) $\pi_2^* = \frac{\pi_2}{4} = 0,0614$

$\pi_1^* = 1 - e^{-\pi_2^*}$

$\pi_1^* = 1 - e^{-0,0614}$

$\pi_1^* = 0,05955$

$\pi_1^* = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1^*}{\vartheta_1' - \vartheta_2}$

$0,05955 = \frac{60 - \vartheta_1^*}{60 - 151,84}$

$\vartheta_1^* = 65,47°C$

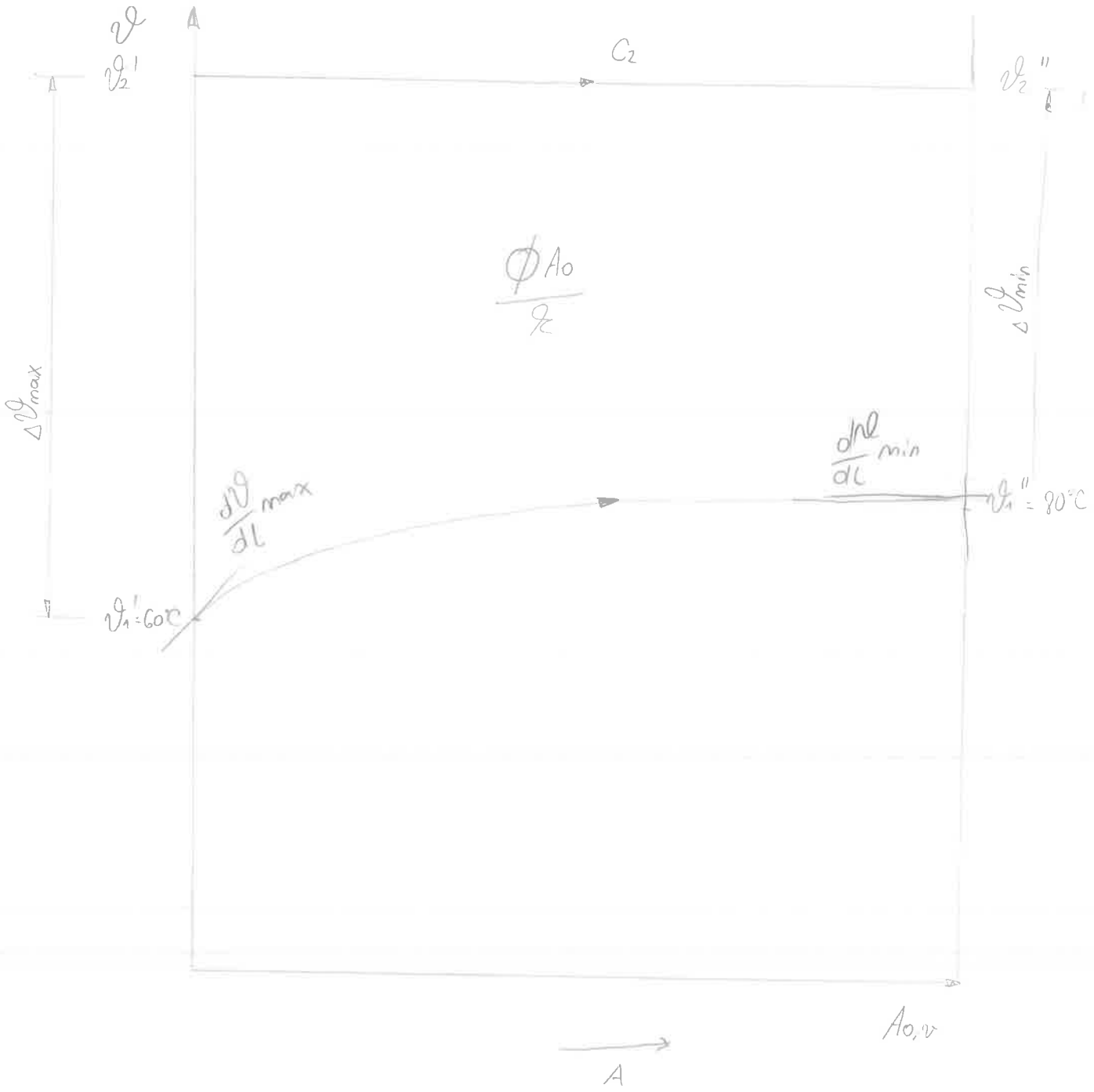
na četvrtini cijevi

$\Phi_{(1/4\,A)} = C_1 \cdot (\vartheta_1^* - \vartheta_1')$

$\Phi_{(1/4\,A)} = 290\,763,39\,(65,47 - 60)$

$\Phi_{(1/4\,A)} = 1590,29\ kW$ – na $\frac{1}{4}$ od ulaza

$\Rightarrow$ na ostale $\frac{3}{4} \Rightarrow$ 2. stranica



$$\Pi_2 = \frac{k_v \cdot \frac{3}{4} \cdot d_i \cdot \pi \cdot L \cdot n}{C_1}$$

$$\Pi_2 = \frac{2500 \cdot \frac{3}{4} \cdot 0{,}038 \cdot \pi \cdot 2{,}175 \cdot 110}{290\,763{,}89}$$

$$\Pi_2 = 0{,}1842$$

$$\Pi_1 = 1 - e^{-\Pi_2} = 0{,}1682$$

$$\vartheta_1'' = 75{,}45°C$$

$$\Phi_{(\frac{3}{4}A)} = C_1 \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1')$$

$$\Phi_{(\frac{3}{4}A)} = 290\,763{,}89 \cdot (75{,}45 - 60)$$

$$\Phi_{(\frac{3}{4}A)} = 4492{,}3\ kW$$

⑥ 16 veljače 2018.

$q_{m,G} = 10\ g/h$

sastav goriva

$C = 0,38$
$h = 0,04$
$O = 0,32$
$w = 0,25$
$a = 0,01$

$\lambda = 1,5$

$\vartheta_{zr,u} = \vartheta_G = 0°C$

$p = 1\ bar$

$\vartheta_{dp} = \vartheta_{izg,teo} = 200°C$

$$O_{min} = \frac{C}{12} + \frac{h}{4} + \frac{S}{32} + \frac{O}{32}$$

$$O_{min} = \frac{0,38}{12} + \frac{0,04}{4} + \frac{\emptyset}{32} - \frac{0,32}{32}$$

$\emptyset \rightarrow 0$

$O_{min} = 0,03167\ g_{mol}/g_G$

$$Z_{stv} = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0,21} = 1,5 \cdot \frac{0,03167}{0,21}$$

$Z_{stv} = 0,2262\ g_{mol}/g_G$

$$n'_{C,uk} = \frac{C}{12} = \frac{0,38}{12} = 0,03167\ g_{mol}/g_G$$

$$n'_h = \frac{h}{2} = \frac{0,04}{2} = 0,02\ g_{mol}/g$$

$n'_S = 0$

$$n'_O = \frac{O}{32} = \frac{0,32}{32} = 0,01\ g_{mol}/g$$

$n'_n = \emptyset$

$$n'_w = \frac{0,25}{18} = 0,01389\ g_{mol}/g$$

$n_{CO_2} = 0,03167\ g_{mol}/g_G$

$n_{H_2O} = n'_h + n'_w = 0,02 + 0,01389$

$n_{H_2O} = 0,03389\ g_{mol}/g_G$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) O_{min} = 0,5 \cdot 0,03167$

$n_{O_2} = 0,01584\ g_{mol}/g_G$

$n_{N_2} = 0,79 Z_{stv} + n'_n = 0,79 \cdot 0,2262 + \emptyset$

$n_{N_2} = 0,1787\ g_{mol}/g_G$

$$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta h_d + [c_{p,G}]_0^0 \cdot O + Z_{stv} [c_{m,p,z}]_0^0 \cdot O + \frac{\Phi_{12}}{q_{m,G}}}{\sum n_i [c_{m,p,i}]_0^{200}}$$

$$\Delta h_d = 33910 c + 117000 \left(h - \frac{O}{8}\right) + 10500 S - 2500 w$$

$$\Delta h_d = 33910 \cdot 0,38 + 117000 \left(0,04 - \frac{0,32}{8}\right) - 2500 \cdot 0,25$$

$\Delta h_d = 12\,260,8\ kJ/kg$

$$200 = \frac{12\,260,8 + \frac{\Phi_{12} \cdot 3600}{10}}{8,122}$$

$\Phi_{12} = -29,55\ kW$

	$[c_{mp,i}]_0^{200}$	n_i	$n_i [c_{mp,i}]_0^{200}$
CO_2	40,059	0,03167	1,2687
H_2O	34,118	0,03389	1,1563
O_2	29,931	0,01584	0,474
N_2	29,228	0,1787	5,223
Σ	–	0,2601	8,122

$[c_{m,p,dp}] = 8,122\ kJ/K_{mol/kg}$

$P_1 \cdot V = n_{vdp} \cdot R_m \cdot T_1$ ($T_1 = 473,15\ K$)

$P_2 \cdot V = n_{sdp} \cdot R_m \cdot T_2$ ($T_2 = 273,15$)

$$P_2 = \frac{n_{sdp} \cdot T_2}{n_{vdp} \cdot T_1} \cdot P_1 = \frac{0,2262 \cdot 273,15}{0,2601 \cdot 473,15} \cdot 1$$

$P_2 = 0,502\ bar$

temperatura zasićenja za $0,13\ bar \Rightarrow \vartheta'$

$p'_{H_2O} = p_{uk} \cdot y_{H_2O} = 0,13\ bar$ $\quad \vartheta' \approx 50,7°C$

$$y_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{vdp}} = \frac{0,03389}{0,2601} \Rightarrow y_{H_2O} = 0,1303$$

$$y_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{vdp}} = \frac{0,03167}{0,2601} \Rightarrow y_{CO_2} = 0,12176$$

$$y_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{vdp}} = \frac{0,01584}{0,2601} \Rightarrow y_{O_2} = 0,0609$$

$$y_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{vdp}} = \frac{0,1787}{0,2601} \Rightarrow y_{N_2} = 0,687$$

$n_{mdp} = 0,2601\ g_{mol}/g_z$

$n_{sdp} = 0,2601 - 0,03389$

$n_{sdp} = 0,2262\ g_{mol}/g_z$

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku, A grupa √

Zagreb, 23. ožujka 2018.

1. ZADATAK

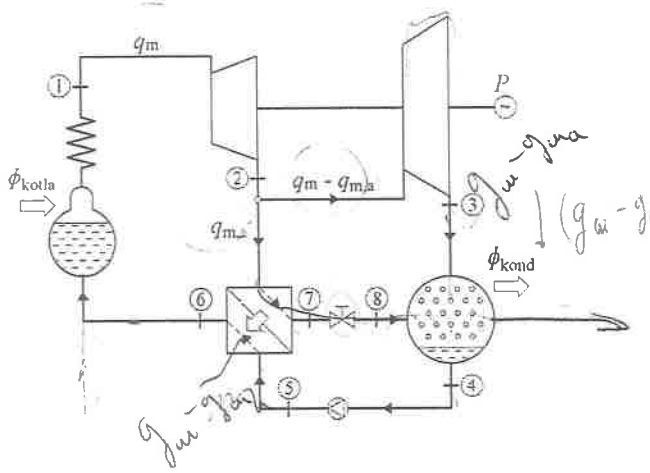
Desnokretni kružni proces s 2 kg zraka odvija se između tlakova 1 bar i 5 bar. Proces se odvija na sljedeći način:
1 – 2 Politropska kompresija zraka (n = 1,6) od minimalnog na maksimalni tlak
2 – 3 Izobarno zagrijavanje do maksimalne temperature
3 – 4 Politropska ekspanzija (n = 1,2)
4 – 1 Izohorna promjena stanja do početnog volumena
Minimalna je temperatura zraka u procesu 10 °C, a odvedena toplina tijekom procesa iznosi 300 kJ. Kolike su izmijenjene topline u procesu i neto rad procesa?
Proces prikazati u p,v- i T,s-dijagramu!

2. ZADATAK

Plinska smjesa dušika i ugljikovog dioksida, jednakih molnih udjela, izentropski se komprimira u cilindru od okolišnog stanja 1 bar i 25 °C do tlaka 8 bar, a zatim joj se pri tom tlaku dovodi 400 kJ/kg topline. Smjesa potom izentropski ekspandira do okolišnog tlaka.
Izračunajte temperature smjese u svim istaknutim točkama procesa i specifični efektivni rad u cijelom procesu!
Skica procesa s plinom u p,v i T,s-dijagramu!

3. ZADATAK

Parni kotao proizvodi 5 t/h vodene pare stanja 30 bar i temperature 350 °C. Nakon izentropske ekspanzije u prvom dijelu turbine do tlaka 10 bar dio pare masenog protoka $q_{m,a}$ se odvodi u izmjenjivač topline u kojem potpuno kondenzira, a potom se prigušuje i odvodi u kondenzator. Ostatak pare dalje izentropski ekspandira u drugom dijelu turbine do kondenzatorskog tlaka 0,2 bar. U kondenzatoru para potpuno kondenzira te se pumpom dovodi u izmjenjivač topline u kojem se voda zagrijava na temperaturu od 170 °C.
Potrebno je izračunati snagu turbine i pumpe, koliko se toplinskog toka dovodi parnom kotlu te koliko se toplinskog toka odvodi u kondenzatoru.
Proces prikazati u T,s- i h,s-dijagramu!



4. ZADATAK

Kroz vodoravnu čeličnu cijev (λ = 58 W/(m·K)) unutrašnjeg promjera 80 mm, debljine stijenke 5 mm i duljine 10 m struji pregrijana vodena para tlaka 10 bar i temperature 300 °C. Cijev je izvana obložena izolacijom ukupne debljine 60 mm i tankim aluminijskim limom. Okružena je mirujućim zrakom temperature 20 °C i velikim zidovima. Izolacija je takvih svojstava da na temperaturi iznad 150 °C mijenja iznos toplinske provodnosti: na temperaturama ispod 150 °C iznosi 0,05 W/(m·K), a na temperaturama iznad iznosi 0,2 W/(m·K). Ukupni koeficijent prijelaza topline na strani zraka iznosi 5,7 W/(m^2·K), a koeficijent prijelaza topline na unutarnjoj površini cijevi iznosi 185,6 W/(m^2·K). Potrebno je izračunati temperaturu aluminijskog lima.
Para u cijevi ne kondenzira.
Raspored temperatura po polumjeru r skicirati u ϑ,r-dijagramu!

5. ZADATAK

Protusmjerni je izmjenjivač topline izveden kao snop od 25 spojenih čeličnih cijevi promjera 20/24 mm ukupne duljine 6 m. U tom se izmjenjivaču zagrijava 1,8 kg/s vode od 12 °C na 42 °C. Toplinski tok za zagrijavanje predaje druga struja vode koja se prolaskom kroz cijevi ohladi za 20 °C. Koeficijent prijelaza topline u cijevi iznosi 1100 W/(m^2·K), a oko cijevi 700 (W/m^2·K). Potrebno je izračunati kolika je ulazna i izlazna temperatura druge struje vode. Koliki je minimalni, a koliki maksimalni temperaturni gradijent struja ($d\vartheta/dL$) u izmjenjivaču topline?
Raspored temperatura struja i tražene derivacije prikazati u ϑ,A-dijagramu!

6. ZADATAK

Plinska smjesa molnog sastava: 65 % metana, 12 % etana, 10 % propana i 13 % dušika potpuno izgara s 20 % pretička zraka. Gorivo i zrak za izgaranje ulaze u ložište s okolišnom temperaturom 0 °C. Količinski je protok goriva 18 kmol/h.
a) Kolika bi se temperatura postigla pri izgaranju kad bi ložište bilo toplinski izolirano? (Pretpostaviti 1750 °C!)
b) Ako ložište nije toplinski izolirano, nego se hladi s 16000 kg/h vode (koja se pritom zagrijava za 10 °C), a želimo postići jednaku temperaturu u ložištu kao pod a), na koliku zajedničku temperaturu moramo predgrijavati gorivo i zrak za izgaranje? (Pretpostaviti 100 °C!)
Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima.

①

$m_{zr} = 2\,kg$ $\quad T_{min} = 283{,}15\,K$

$p_1 = 1\,bar$ $\quad Q_{odv} = -300\,kJ$

$p_2 = 5\,bar$

Stanje ① $\xrightarrow{n=1{,}6}$ stanje ② $\xrightarrow[p=konst]{izobara}$ stanje ③

$T_1 = 283{,}15\,K$

$p_1 = 1\,bar$

$V_1 = \frac{m R T_1}{p_1}$

$V_1 = \frac{2 \cdot 287{,}1 \cdot 283{,}15}{10^5}$

$V_1 = 1{,}626\,m^3$

stanje ②

$p_2 = 5\,bar$

$T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \cdot T_1$

$T_2 = 517{,}8\,K$

stanje ③

$p_3 = 5\,bar$

$T_3 = T_4 \cdot \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$T_3 = 492{,}1 \cdot \left(\frac{5}{1{,}738}\right)^{\frac{1{,}2-1}{1{,}2}}$

$T_3 = 536{,}87\,K$

$n=1{,}2$ → Stanje ④ $\xrightarrow{v=konst}$ stanje ①

T_4 = iz Q_{odv}

$T_4 = 492{,}1\,K$

$p_4 = \frac{m \cdot R \cdot T_4}{V_4} = \frac{2 \cdot 287{,}1 \cdot 492{,}1}{1{,}626}$

$V_4 = V_1$ $\quad p_4 = 1{,}738\,bar$

$Q_{odv} = Q_{41} = m \cdot c_v (T_1 - T_4)$

$\frac{Q_{41}}{m \cdot c_v} = T_1 - T_4$

$T_4 = 283{,}15 - \frac{300}{2 \cdot \frac{1{,}005}{1{,}4}}$

$T_4 = 492{,}1\,K$

Toplne

$Q_{12} = m \cdot c_v \cdot \frac{n-\kappa}{n-1} (T_2 - T_1)$

$Q_{12} = 112{,}32\,kJ$

$Q_{23} = m \cdot c_p (T_3 - T_2)$

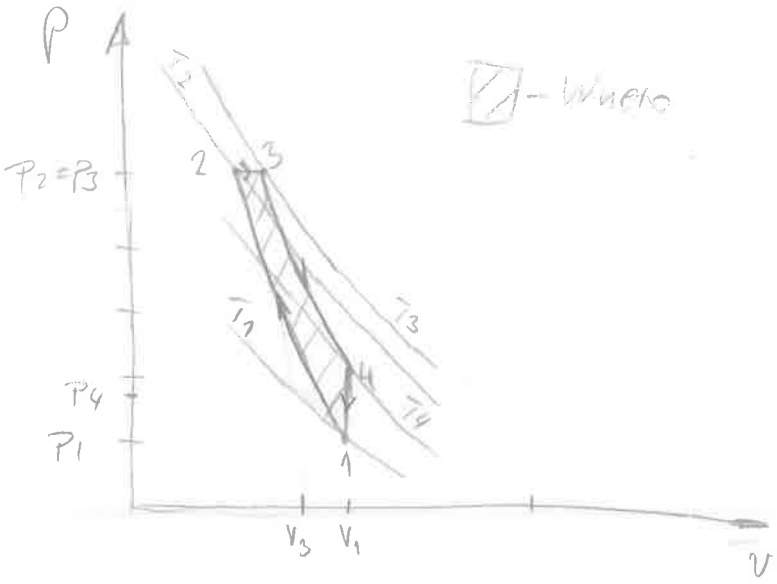
$Q_{23} = 138{,}33\,kJ$

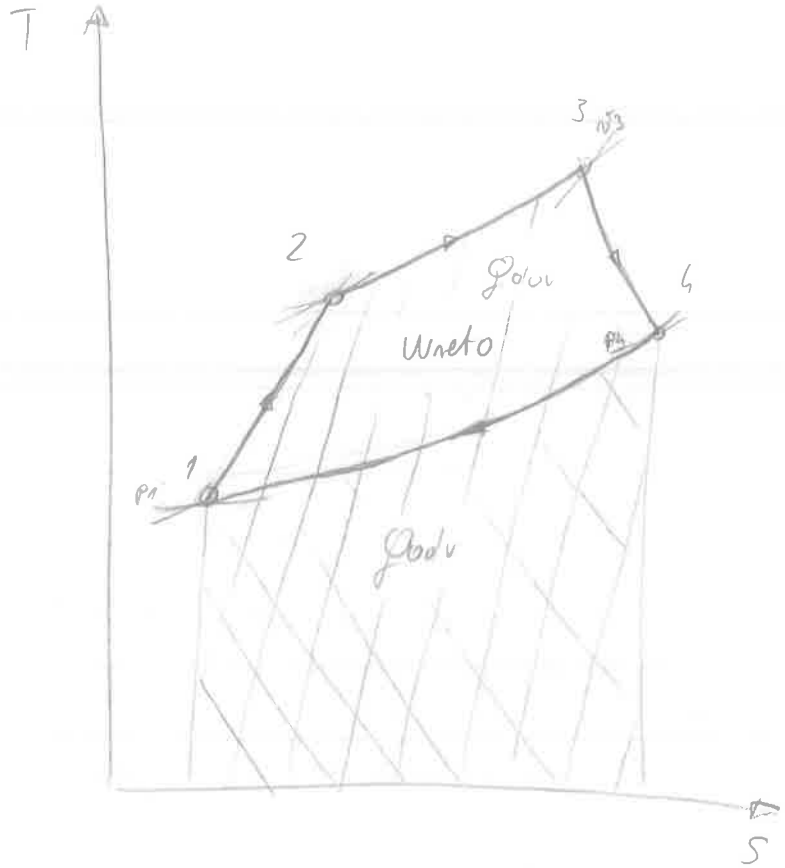
$Q_{34} = m \cdot c_v \cdot \frac{n-\kappa}{n-1} (T_4 - T_3)$

$Q_{34} = 136{,}07\,kJ$

$Q_{41} = -300\,kJ$

$W_{neto} = \sum Q_i = 87{,}2\,kJ$





Qabs - Qabs

Qced - Qced

Wneto = |Qabs| - |Qced|

(2) $y_{N2} = 0,5$ $y_{CO2} = 0,5$ $\varkappa = \frac{C_{mp,M}}{C_{mp,M} - R_M} = 1,3439$ $C_{mp,M} = 32,4875$ kJ/kmole

Stanje (1) $\xrightarrow{\text{ad}}$ Stanje (2) $\xrightarrow{p=\text{konst}}$ Stanje (3)

$p_1 = 1$ bar
$\vartheta_1 = 25°C$
$p_1 v_1 = R_M \cdot T_1$
$R_M = 230,86$ J/kgK
$v_1 = 0,688$ m³/kg

$p_2 = 8$ bar
$T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} \cdot T_1$
$T_2 = 507,6$ K

$p_3 = 8$ bar
$T_3 = \frac{q_{23}}{c_p} + T_2$
$T_3 = 951$ K

$W_{uk} = W_{12} + W_{23} + W_{34} = 225,2$ J/kg

$\varkappa$ → Stanje (4)

$p_4 = 1$ bar
$T_4 = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} \cdot T_3$
$T_4 = 558,6$ K
$v_4 = \frac{R_M \cdot T_4}{p_4}$
$v_4 = 1,29$ m³/kg

$W_{12} = \frac{R_M}{\varkappa - 1}(T_1 - T_2) = \frac{230,86}{1,3439-1}(298,15 - 507,6)$

$W_{12} = -140,6$ kJ/kg

$W_{23} = R_M \cdot (T_3 - T_2) = 230,86\ (951 - 507,6)$

$W_{23} = 102,36$ kJ/kg

$W_{34} = \frac{R_M}{\varkappa - 1}(T_3 - T_4) = \frac{230,86}{1,3439-1}(951 - 558,6)$

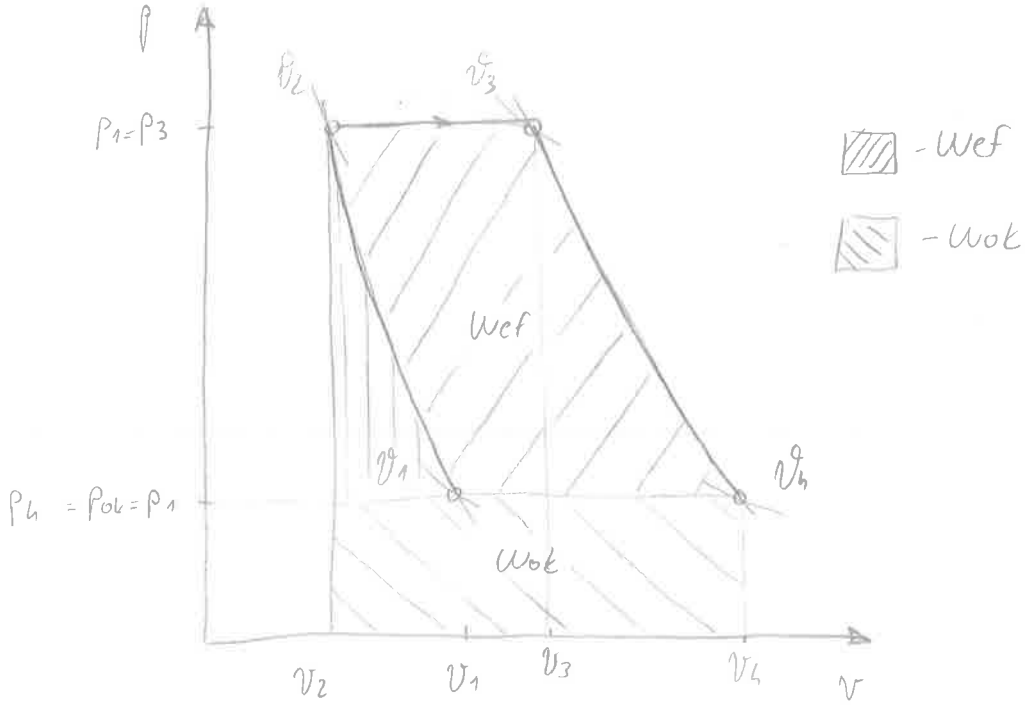
$W_{34} = 263,4$ kJ/kg

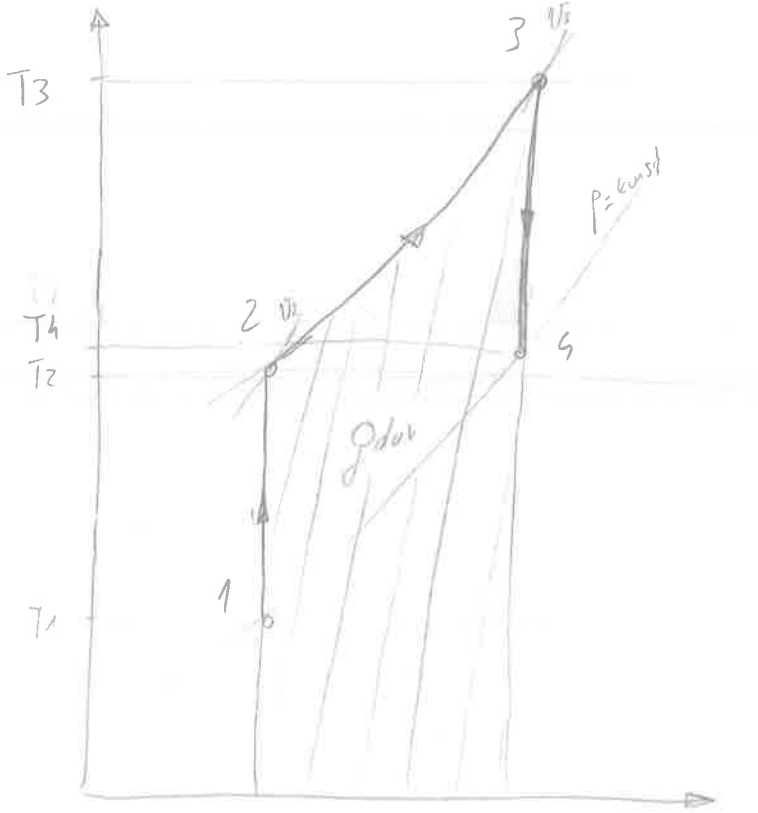
$W_{ef} = W_{uk} - W_{ok}$

$W_{ok} = p_{ok}(v_4 - v_1)$
$W_{ok} = 10^5\ (1,29 - 0,688)$
$W_{ok} = 60,2$ kJ/kg

$W_{ef} = 225,2 - 60,2$

$W_{ef} = 165$ kJ/kg


p
$p_1 = p_3$
$p_4 = p_{ok} = p_1$
v_2
v_3
w_{ef}
v_1
v_4
w_{ok}
v_2
v_1
v_3
v_4
v
- w_{ef}
- w_{ok}


T_3
T_4
T_2
T_1
3
2
4
1
p = konst
q_{dol}

③

Stanje ① $\xrightarrow{s_1 = s_2}$ Stanje ② $\xrightarrow{s_3 = s_2}$

$\dot{m} = \frac{500}{3600} \frac{kg}{s}$

$p_1 = 30\ bar$

$\vartheta_1 = 350°C$

$h_1 = 3116{,}06\ kJ/kg$

$s_1 = 6{,}7449\ kJ/kgK$

$s_2 = s_1 = 6{,}7449\ kJ/kgK$

$p_2 = 10\ bar$

ϑ_2 (interpolacija po s)

$\vartheta_2 = 200 + \frac{220-200}{6{,}7934 - 6{,}6955} (6{,}7449 - 6{,}6955)$

$\vartheta_2 \approx 210{,}1°C$

$h_2 = \ldots = 2852{,}127\ kJ/kg$

Stanje ③ $\xrightarrow{p = konst}$ stanje ④ $\xrightarrow{s_5 = s_4}$

$s_3 = s_2 = 6{,}7449\ kJ/kgK$

$p_3 = 0{,}2\ bar$

$\vartheta_3 = 60{,}06°C$

$s_3' = 0{,}8320\ kJ/kgK$

$s_3'' = 7{,}9072\ kJ/kgK$

$x_3 = \frac{s_3 - s_3'}{s_3'' - s_3'}$

$x_3 = 0{,}836\ kg/kg$

$p_4 = p_3 = 0{,}2\ bar$

$\vartheta_4 = 60{,}06°C$

$h_4 = h' = 251{,}4\ kJ/kg$

$s_4 = s' = 0{,}832\ kJ/kgK$

$v_4 = 0{,}0010172\ m^3/kg$

Stanje ⑤ $\xrightarrow{p = konst}$ stanje ⑥

$p_5 = 30\ bar$

$s_5 = s_4 = 0{,}832\ kJ/kgK$

$\vartheta_5 = 60 + \frac{70-60}{0{,}8532 - 0{,}8296} (0{,}8320 - 0{,}8296)$

$\vartheta_5 = 60{,}194°C$

$h_5 = \ldots = 254{,}47\ kJ/kg$

$v_5 \approx v_4$

$p_6 = 30\ bar$

$\vartheta_6 = 170°C$

$h_6 = 720{,}42\ kJ/kg$

$s_6 = 2{,}0391\ kJ/kgK$

Stanje ② $\xrightarrow{p = konst}$ stanje ⑦ $\xrightarrow[h_8 = h_7]{prigušenje}$ stanje ⑧

$p_7 = 10\ bar = p_2$

$h_7 = 762{,}68\ kJ/kg$

$s_7 = 2{,}1384\ kJ/kgK$

$\vartheta_7 = 179{,}89°C$

$p_8 = p_2 = 0{,}02\ bar$

$h_8 = 762{,}68\ kJ/kg = h_7$

Izmjenjivač topline

$-\Phi_{27} = \Phi_{56}$

$-q_{m,a}(h_7 - h_2) = q_m(h_6 - h_5)$

$$q_{m,a} = -\frac{q_m(h_6-h_5)}{h_7-h_2} = -\frac{\frac{5000}{3600}\cdot(720{,}42-254{,}47)}{762{,}68-2852{,}127}$$

$q_{m,a} = 0{,}31\ kg/s$

$P_{pumpe} = P_{45} \cong q_m \cdot v \cdot (p_4 - p_5)$

$\cong \frac{5000}{3600} \cdot 0{,}0010172\,(0{,}2-30)\cdot 10^5$

$P_p \cong -4{,}21\ kW$

turbina

$P_t = q_m(h_1-h_2) + (q_m - q_{m,a})(h_2-h_3)$

$P_t = \frac{5000}{3600}(3116{,}06 - 2852{,}127) + 1{,}08(2852{,}127 - 2221{,}66)$

$P_t \cong 1047{,}5\ kW$

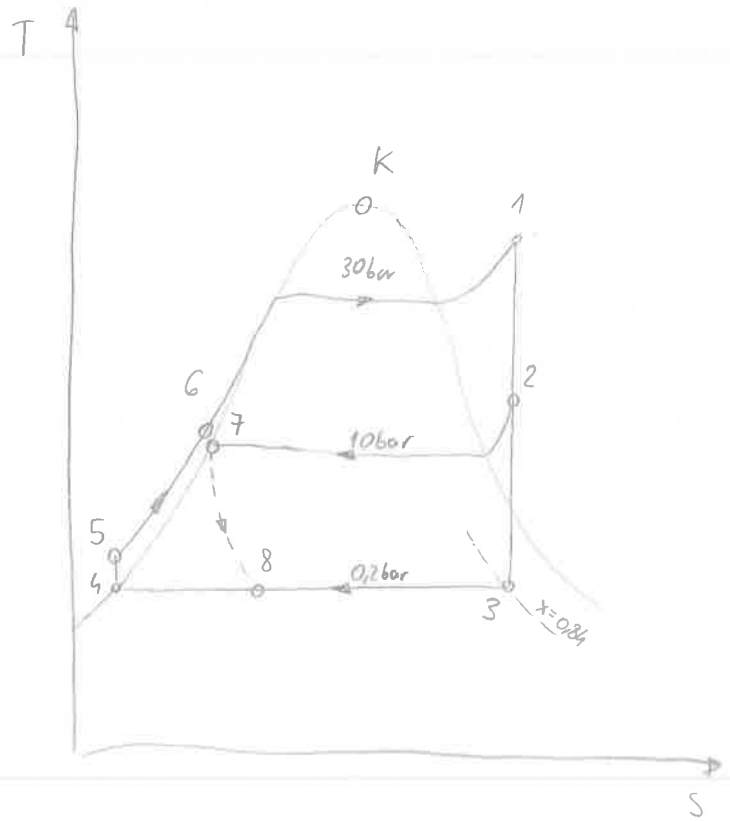
$\Phi_{kotla} = \Phi_{61} = q_m(h_1-h_6)$

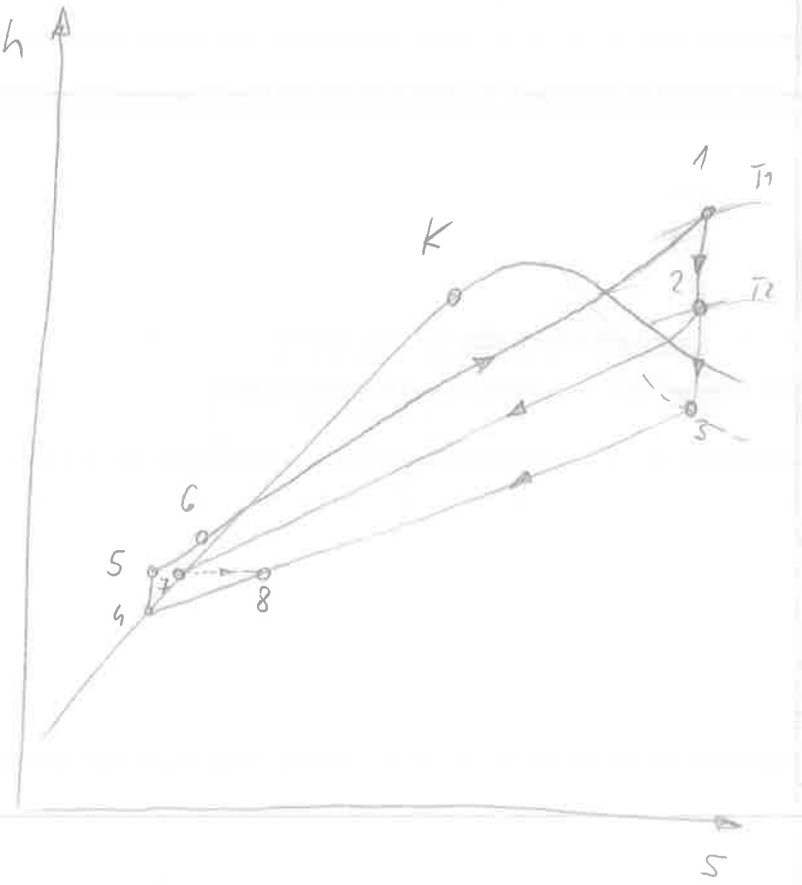
$= \frac{5000}{3600}(3116{,}06 - 720{,}42)$

$\Phi_{kotla} = 3327{,}28\ kW$

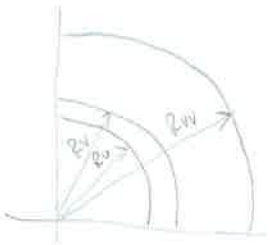
$\Phi_{kond} = \Phi_{34} + \Phi_{84} = (q_m - q_{m,a})(h_4-h_3) + q_{m,a}(h_4-h_8) = 1{,}08(254{,}1 - 2221{,}66) + 0{,}31(251{,}4 - 762{,}68)$

$\Phi_{kond} = -2283{,}46\ kW$





4. Kroz vodoravnu čeličnu cijev ($\lambda = 58$ W/mK) unutrašnjeg promjera 80 mm, debljine stijenke 5 mm i duljine 10 m struji pregrijana vodena para tlaka 10 bar i temperature 300°C. Cijev je izvana obložena izolacijom ukupne debljine 60 mm i tankim aluminijskim limom. Okružena je mirujućim zrakom temperature 20°C i velikim zidovima. Izolacija je takvih svojstava da na temperaturi iznad 150°C mijenja iznos toplinske provodnosti: na temperaturama ispod 150°C iznosi 0,05 W/m²K, a na temperaturama iznad iznosi 0,2 W/m²K. Koeficijent prijelaza topline na strani zraka iznosi 5,7 W/m²K, a koeficijent prijelaza topline na unutarnjoj površini cijevi, iznosi 185,6 W/m²K. Potrebno je izračunati temperaturu aluminijskog lima. Para u cijevi ne kondenzira. Raspored temperatura po polumjeru r skicirati u ϑ, r-dijagramu



$\frac{dv}{2} = Rv = \frac{80}{2}$ mm

$\frac{dv}{2} = Rv = \frac{80}{2}$ mm

$dv + 2\cdot\delta = dvv = 210$ mm

$\frac{dvv}{2} = Rvv = \frac{210}{2}$ mm

$T_x = 150°C \triangleq 423{,}15$ K

$R_x = ?$

Vrijede 2 jednadžbe

$$\Phi = \frac{2\pi L (T_1 - T_x)}{\left(\frac{1}{R_u \alpha_u} + \frac{1}{\lambda_č} \ln\frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\lambda_{iz}} \ln\frac{R_x}{R_v}\right)}$$

$$\frac{2\pi L (T_1 - T_x)}{\frac{1}{R_u \alpha_u} + \frac{1}{\lambda_č} \ln\frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\lambda_{iz}} \ln\frac{R_x}{R_v}} = \frac{2\pi L (T_x - T_2)}{\frac{1}{\lambda_{iz}} \ln\frac{R_{vv}}{R_x} + \frac{1}{R_{vv}\alpha_v}}$$

$$\Phi = \frac{2\pi L (T_x - T_2)}{\frac{1}{\lambda_{iz}} \ln\frac{R_{vv}}{R_x} + \frac{1}{R_{vv}\alpha_v}}$$

$$\frac{300 - 150}{\frac{2\cdot 1000}{80\cdot 185{,}6} + \frac{1}{58}\ln\frac{80}{80} + \frac{1}{0{,}2}\ln\frac{R_x}{0{,}045}} = \frac{150 - 20}{\frac{1}{0{,}05}\ln\frac{0{,}105}{R_x} + \frac{2\cdot 1000}{210\cdot 5{,}7}}$$

$\Rightarrow$ $R_x = 0{,}09624 \approx 96{,}24$ mm

$d_x = 192{,}48$ mm

$$\Phi = \frac{(150 - 20)\cdot 2\pi\cdot 10}{\frac{1}{0{,}05}\ln\frac{0{,}105}{0{,}09624} + \frac{2000}{210\cdot 5{,}7}} = 2393{,}14 \text{ W}$$

$\approx \sqrt{}$

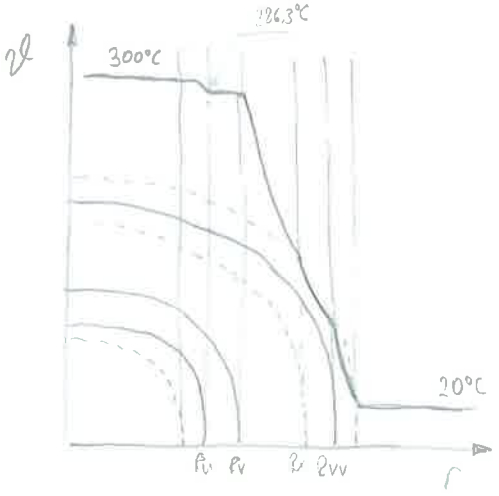
→ provjera $\Phi = \frac{150\cdot 2\pi\cdot 10}{\frac{2\cdot 1000}{80\cdot 185{,}6} + \frac{1}{58}\ln\frac{20}{80} + \frac{1}{0{,}2}\ln\frac{0{,}09624}{0{,}045}} = 2393{,}5$

$$T_{lim} = T_x - \frac{\Phi}{2\pi L}\left(\frac{1}{0{,}05}\ln\frac{0{,}105}{0{,}09624}\right)$$

$$T_{lim} = 150 - \frac{2393{,}14}{2\pi\cdot 10}\left(\frac{1}{0{,}05}\ln\frac{0{,}105}{0{,}09624}\right)$$

provjera $T_2 = 83{,}639 - \frac{2393{,}14}{20\pi}\left(\frac{2000}{210\cdot 5{,}7}\right) \approx 20°C$ $\sqrt{}$

$T_{lim} = 83{,}639°C$



Δ1 = 136

Δ2 = 66

⑤ Protusmjerni

$n = 25$

$du/dv = 20/24$

$L = 6\,m$

$\Delta\vartheta_2 = -20°C = \vartheta_2'' - \vartheta_2'$

$\dot{m}_{m,1} = 1{,}8\ kg/s$

$\vartheta_1' = 12°C$

$\vartheta_1'' = 42°C$

$\alpha_u = 1100\ W/m^2K$

$\alpha_v = 700\ W/m^2K$

$$\Pi_2 = \frac{k_u \cdot A_u}{C_1}$$

$$\Pi_2 = \frac{469{,}26 \cdot 9{,}425}{7536{,}6}$$

$$\Pi_2 = 0{,}5868$$

$$\Pi_1 = \frac{1 - e^{-(1-\Pi_3)\Pi_2}}{1 - \Pi_3 e^{-(1-\Pi_3)\Pi_2}}$$

$$\Pi_1 = 0{,}3932$$

$$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'}$$

$$0{,}3932 = \frac{12 - 42}{12 - \vartheta_2'}$$

$$\vartheta_2' = 88{,}29°C$$

$$\vartheta_2'' = 68{,}29°C$$

$$\frac{d\vartheta}{dL}\,min = \frac{d\vartheta_2}{dL}(A = A_0) = \frac{k_u\, du\, \pi\, n\, (\vartheta_2' - \vartheta_2'')}{C_2}$$

$$\frac{d\vartheta}{dL}\,min = \frac{469{,}26 \cdot 0{,}02 \cdot \pi \cdot 25 \cdot (88{,}29 - 42)}{11304{,}9}$$

$$\frac{d\vartheta}{dL}\,min = 3{,}02\ K/m$$

$$\Phi = \underbrace{\dot{m}_{m,1} \cdot c_w (\vartheta_1'' - \vartheta_1')}_{C_1} = -\underbrace{\dot{m}_{m,2} \cdot c_w}_{C_2} \cdot \Delta\vartheta_2$$

$$C_2 = \frac{\dot{m}_{m,1} \cdot c_w \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1')}{-\Delta\vartheta_2}$$

$$C_2 = \frac{\overbrace{1{,}8 \cdot 4187}^{C_1} \cdot (42 - 12)}{20}$$

$$C_2 = 11304{,}9 \qquad C_1 = 7536{,}6$$

$$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = \frac{7536{,}6}{11304{,}9}$$

$$\Pi_3 = 0{,}6667$$

$$A_u = du\, \pi\, L \cdot n = 20 \times 10^{-3} \cdot \pi \cdot 6 \cdot 25$$

$$A_u = 9{,}425\ m^2$$

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{r_u}{\lambda_č} \ln\frac{r_v}{r_u} + \frac{r_u}{r_v \cdot \alpha_v}}$$

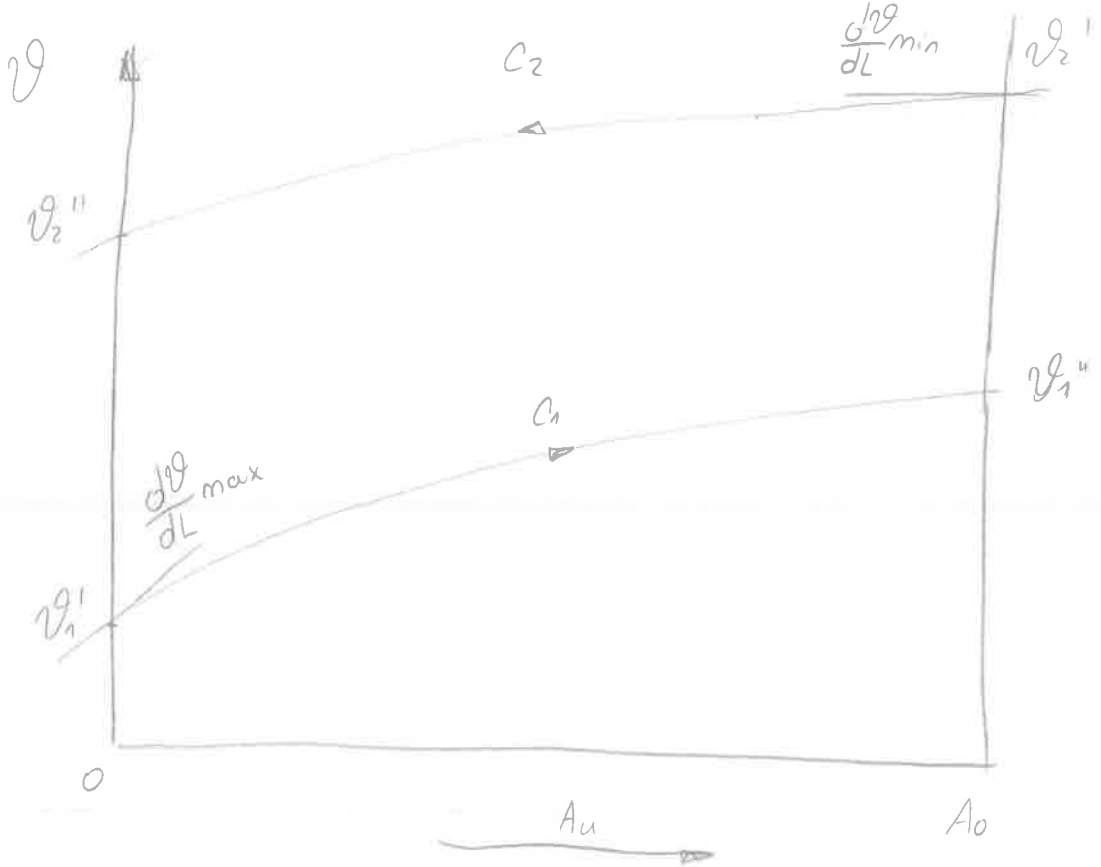
$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{1100} + \frac{0{,}010}{58} \ln\frac{24}{20} + \frac{20}{24 \cdot 700}}$$

$$k_u = 469{,}26\ W/m^2K$$

$$\frac{d\vartheta}{dL}\,max = \frac{d\vartheta_1}{dL}(A = 0) = \frac{k_u \cdot (\vartheta_2'' - \vartheta_1') \cdot du\, \pi\, n}{C_1}$$

$$\frac{d\vartheta}{dL}\,max = \frac{469{,}26\,(68{,}29 - 12) \cdot 0{,}02 \cdot \pi \cdot 25}{7536{,}6}$$

$$\frac{d\vartheta}{dL}\,max = 5{,}5\ K/m$$


ϑ
C2
(dϑ/dL)min
ϑ2'
ϑ2''
ϑ1''
C1
(dϑ/dL)max
ϑ1'
0
Au
Ao

(6) 23. ožujka 2018.

Plinska smjesa

metan $y_{CH_4} = 0,65$ kmol/kmol

etan $y_{C_2H_6} = 0,12$ kmol/kmol

propan $y_{C_3H_8} = 0,1$ kmol/kmol

$y_{N_2} = 0,13$ kmol/kmol

$\lambda = 1,2$

$\vartheta_{zr1} = 0°C$

$\vartheta_{go} = 0°C$

$q_{n,g} = 18$ kmol/h

$z_{stv} = \lambda \frac{O_{min}}{0,21}$

$z_{stv} = 1,2 \frac{2 \cdot 0,65 + 3,5 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,1}{0,21}$

$z_{stv} = 12,6857$ kmol/kmol

Stehiometrijske jednadžbe izgaranja (potpuno)

(1) 1 kmol CH_4 + 2 kmol O_2 ⟶ 1 kmol CO_2 + 2 kmol H_2O

(2) 1 kmol C_2H_6 + 3,5 kmol O_2 ⟶ 2 kmol CO_2 + 3 kmol H_2O

(3) 1 kmol C_3H_8 + 5 kmol O_2 ⟶ 3 kmol CO_2 + 4 kmol H_2O

(4) dušik ne izgara

$n_{CO_2} = 0,65 \cdot 1 + 0,12 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 \Rightarrow n_{CO_2} = 1,19$ kmol/kmol

$n_{H_2O} = n_{H_2} + n_w = \cancel{0,13} + 1 \cdot 0,65 + 3 \cdot 0,12 + 4 \cdot 0,1 \Rightarrow n_{H_2O} = 2,06$ kmol/kmol

$n_{SO_2} = 0$ kmol/kmol

$n_{O_2} = O_{stv} - O_{min} = (\lambda - 1) O_{min} = 0,2 (2 \cdot 0,65 + 3,5 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,1)$

$n_{O_2} = 0,444$ kmol/kmol

$n_{N_2} = 0,79 \cdot 12,6857 + 0,13 = 10,1517$ kmol/kmol

$\Phi_{12} = \Phi$

Energijska bilanca ložišta

$$\vartheta_{izg,teo} = \frac{\Delta H_{rnd} + [c_{mp,G}]_0^{\vartheta_{go}} \cdot \vartheta_G + z_{stv} [c_{mp,zr}]_0^{\vartheta_{zr}} \cdot \vartheta_{zr} - \Phi_{odv}}{\sum n_i [c_{mp,i}]_0^{1750°C}}$$

	$c_{mp,i}$	n_i	$n_i c_{mp,i}$
CO_2	53,411	1,19	63,50
H_2O	42,823	2,06	88,2154
O_2	34,746	0,444	15,427
N_2	32,969	10,1517	334,69
Σ			501,89 kJ/kmolK

$\Delta H_{rnd} = 0,65 \cdot 802,3 + 0,12 \cdot 1427,9 + 0,1 \cdot 2044$

$\Delta H_{rnd} = 897,243 \times 10^3$ kJ/kmol

$\vartheta_{izg,teo} = \frac{897,243 \times 10^3}{501,89} \Rightarrow \boxed{\vartheta_{izg,teo} = 1787,73°C}$

b) $|q_{odv}| = \frac{|\Phi_{odv}|}{q_{n,G}} = \frac{q_{n,rw} \cdot c_w \cdot \Delta T}{q_{n,G}}$

$|q_{odv}| = \frac{16000 \cdot 4187 \cdot 10 \cdot 3600}{3600 \cdot 18} = 37,2178$ MW/h

	$[c_{mp,i}]_0^{100}$	y_i	$y_i [c_{mp,i}]_0^{100°C}$
CH_4	36,806	0,65	23,924
C_2H_6	55,919	0,12	6,71
C_3H_8	78,670	0,1	7,867
N_2	29,144	0,13	3,789
Σ			42,29 kJ/kmolK

$[c_{mp,zr}]_0^{100°C} = 29,153$ kJ/kmolK

$1787,73 = \frac{897,243 \times 10^6 + 42,29 \times 10^3 \cdot \vartheta_x + 12,6857 \cdot 29,153 \times 10^3 \cdot \vartheta_x - 37,2178 \times 10^6}{501,89 \times 10^3}$

$\boxed{\vartheta_x = 90,31°C}$

$M_G = 0,65 \cdot 16,031 + 0,12 \cdot 30,07 + 0,1 \cdot 44,06 + 0,13 \cdot 28,016$

$M_G = 22,0766$ kg/kmol

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku

Zagreb, 19. lipnja 2018.

1. ZADATAK

Plinska smjesa molnog sastava **35%** SO_2, **15%** CH_4 i **50%** C_2H_6, količinskog protoka **30** kmol/h i početnog tlaka **8** bar, izentropski ekspandira u turbini na **2** bar i **-5** °C. Nakon toga se smjesa vodi u izmjenjivač topline gdje služi za hlađenje **1200** kg/h vode s **50** °C na **20** °C. Izlaskom iz izmjenjivača, plinska struja se vodi u kompresor u kojem se politropski komprimira na tlak **5** bar i temperaturu **135** °C, te prigušuje na tlak **2,5** bar.

Treba izračunati temperaturu plinske smjese prije ekspanzije u turbini, te snagu turbine i snagu potrebnu za pogon kompresora! Koliki je volumenski protok plinske smjese na kraju procesa?

Skica procesa u *p,v*- i *T,s*-dijagramu!

2. ZADATAK

Toplinski neizolirana posuda ukupnog volumena **900** litara podijeljena je pregradama na tri jednaka dijela. U prvom je dijelu kisik temperature **70** °C i tlaka **0,55** MPa, u drugom zrak temperature **85** °C i tlaka **0,95** MPa, a u trećem je dijelu dušik temperature **20** °C i nepoznatog tlaka. Okolišna je temperatura **10** °C. Uklanjanjem pregrada, plinovi se izmješaju, a nastala mješavina ima maseni udio dušika **57%** i okolišnu temperaturu.

a) Koliki se tlak ustali u posudi nakon uklanjanja pregrada?
b) Izračunajte parcijalne tlakove svih sudionika u mješavini!
c) Koliko se topline odvede u okoliš tijekom ovog procesa?

3. ZADATAK

U nekom toplinskom postrojenju u turbinu ulazi para stanja **70** bar i **400** °C, gdje izentropski ekspandira do tlaka **7** bar. Para tog stanja se vodi u kondenzator u kojem potpuno kondenzira, a nastali se kondenzat još pothlađuje na temperaturu **160** °C. Zatim se kondenzat prigušuje na tlak **1,2** bar, te vodi u isparivač. Prilikom prigušivanja zabilježen je prirast entropije **2,2** W/K. Iz isparivača izlazi mokra para čiji maseni udio *vrele kapljevine* iznosi **0,2**.

a) Kolika je snaga turbine, te koliko toplinskog toka treba odvoditi u kondenzatoru i kolika je srednja temperatura odvođenja topline u opisanom procesu?
b) Izračunajte toplinski tok kojeg treba dovoditi u isparivaču!

Proces prikazati u *T,s*- i *h,s*-dijagramu!

Svaki zadatak nosi 4 boda.

4. ZADATAK

Kroz vodoravnu čeličnu cijev promjera **50/57** mm i duljine **70** m brzinom **7** m/s struji para tlaka **10** bar i ulazne temperature **220** °C. Cijev je obložena materijalom čija toplinska provodnost iznosi **2,1** W/(m K). Oko cijevi se nalazi mirujući zrak temperature **25** °C. Poznat je koeficijent prijelaza topline na vanjskoj površini cijevi i iznosi **30** W/ (m^2 K). Prijenos topline zračenjem na vanjskoj stijenci cijevi se može zanemariti.

a) Izračunajte kolika je potrebna debljina cijevne obloge da *ne dođe* do kondenzacije pare unutar cijevi?
b) Koliki je pad temperature pare prolaskom kroz zadanu duljinu cijevi?

Raspored temperatura po polumjeru *r* skicirati u *ϑ,r*-dijagramu!

5. ZADATAK

Protusmjerni izmjenjivač topline je napravljen kao snop od **50** paralelno spojenih čeličnih cijevi promjera **26/30** mm, tako da hladnija voda struji kroz cijevi, dok toplija voda struji duž cijevi s njihove vanjske strane. Koeficijent prijelaza topline na strani toplije vode iznosi **1200** W/(m^2K), a na strani hladnije vode **800** W/(m^2K).

U izmjenjivaču se zagrijava **2,5** kg/s hladnije vode, ulazne temperature **20** °C, s pomoću **3,4** kg/s toplije vode ulazne temperature **110** °C

a) Potrebno je izračunati duljinu cijevnog snopa tako da razlika između temperatura dviju struja nigdje u izmjenjivaču ne bude manja od **30** °C!
b) Izračunajte minimalni i maksimalni temperaturni gradijent ($d\vartheta/dA$) u opisanom izmjenjivaču (sveden na *unutarnju* površinu cijevi)?

Raspored temperatura struja duž površine izmjenjivača skicirati u *ϑ,A*- dijagramu, te naznačiti tražene gradijente!

6. ZADATAK

U ložištu potpuno izgara **100** kg/h plinske smjese molnog sastava: **40%** C_2H_6, **5%** C_3H_8, **55%** CH_4 s nepoznatim pretičkom zraka. Gorivo i zrak ulaze u ložište s **0** °C. Proces se odvija na tlaku **1** bar.

Koliki je faktor pretička zraka ako je temperatura u ložištu **1200** °C, a ložište toplinski izolirano? Koliki su gubici osjetne topline, ako dimni plinovi odlaze u dimnjak s temperaturom **200** °C, a stanje okoliša je normalno? Izračunajte temperaturu pri kojoj dolazi do kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova!

Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima!

1. $y_{SO_2} = 0{,}35$, $y_{CH_4} = 0{,}15$, $y_{C_2H_6} = 0{,}15$

$C_{mpH} = \sum y_i C_{upi} = 43{,}575$ kJ/kmolK

$M_H = \sum y_i M_i = 39{,}85$ kg/kmol

$q_{nH} = 30$ kmol/h $= 8{,}33 \cdot 10^{-3}$ kmol/s

$p_1 = 8$ bar

$p_2 = 2$ bar $\quad \vartheta_2 = -5\,°C \quad (T_2 = 268{,}15\,K)$

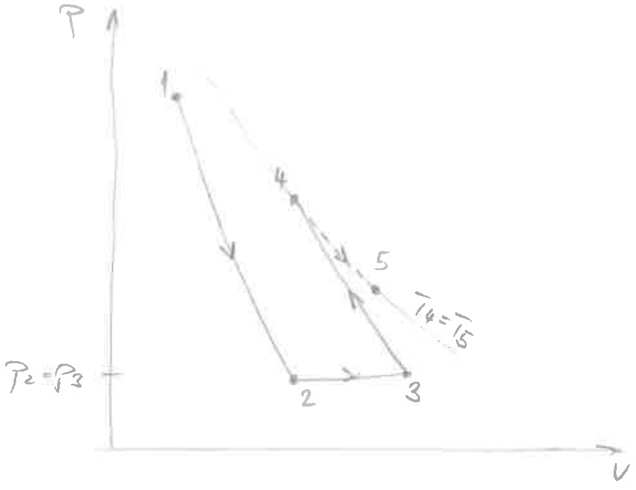
$q_{mRW} = 1200$ kg/h $= 0{,}3333$ kg/s

$\Delta\vartheta_{RW} = \vartheta_{RW2} - \vartheta_{RW1} = 50 - 20 = 30\,°C$

$p_4 = 5$ bar $\quad \vartheta_4 = 135\,°C \quad (T_4 = 408{,}15\,K)$

$p_5 = 2{,}5$ bar $\quad \vartheta_5 = \vartheta_4 = 135\,°C$ (prigušivanje idealnog plina!)

skica:



$\vartheta_1 = ?$ $\quad p_T = ?$ $\quad p_k = ?$ $\quad q_{vH5} = ?$

$$\varkappa_H = \frac{C_{mpH}}{C_{mvH}} = \frac{C_{upH}}{C_{upH} - R_m} = \frac{43{,}575}{43{,}575 - 8{,}314} = 1{,}2358$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa_H - 1}{\varkappa_H}}$$

$$T_1 = \frac{T_2}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa_H - 1}{\varkappa_H}}} = \frac{268{,}15}{\left(\frac{2}{8}\right)^{\frac{1{,}2358 - 1}{1{,}2358}}} = 349{,}35\,K \quad (\vartheta_1 = 76{,}2\,°C)$$

$$P_T = P_{12} = q_{nH} \cdot C_{upH} \cdot (T_1 - T_2) = \frac{30}{3600} \cdot 43{,}575\,(349{,}35 - 268{,}15) = 29{,}49\,kW$$

$$P_k = P_{34} = q_{mH} \cdot w_{tens4} = q_{mH} \cdot \frac{n \cdot R_H}{n-1}(T_3 - T_4)$$

$$\Phi_{23} = \Phi_{RW} = q_{mRW} \cdot c_{pRW} \cdot \Delta\vartheta_{RW} = \frac{1200}{3600} \cdot 4{,}1792 \cdot (50 - 20) = 41{,}792\,kW$$

c_{pRW} (za 35 °C!) $= 4{,}1792$ kJ/kgK

$$\Phi_{23} = q_{nH} \cdot C_{mpH} \cdot (T_3 - T_2) \longrightarrow T_3 = \frac{\Phi_{23} + q_{nH} \cdot C_{upH} \cdot T_2}{q_{nH} \cdot C_{upH}} = 383{,}24\,K$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{n-1}{n}} \Big/ \ln$$

$p_2 = p_3 = 2$ bar

$$\ln\frac{T_4}{T_3} = \frac{n-1}{n}\ln\frac{p_4}{p_3} \Big/ \cdot n$$

$$n \cdot \ln\frac{T_4}{T_3} = n \cdot \ln\frac{p_4}{p_3} - \ln\frac{p_4}{p_3}$$

$$n = \frac{\ln\frac{p_4}{p_3}}{\ln\frac{p_4}{p_3} - \ln\frac{T_4}{T_3}} = 1{,}0738$$

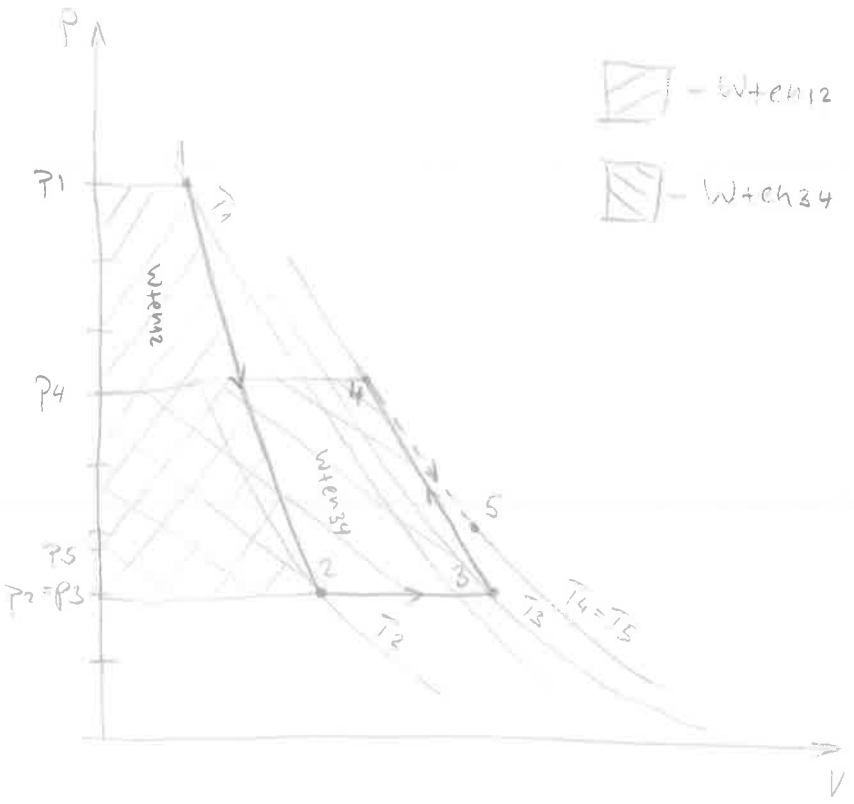
$$q_{mH} = q_{nH} \cdot M_H = \frac{30}{3600} \cdot 39{,}85 = 0{,}3321\,kg/s$$

$$M_H \cdot R_H = R_m \rightarrow R_H = \frac{R_m}{M_H} = \frac{8314}{39{,}85} = 0{,}209\,kJ/kgK$$

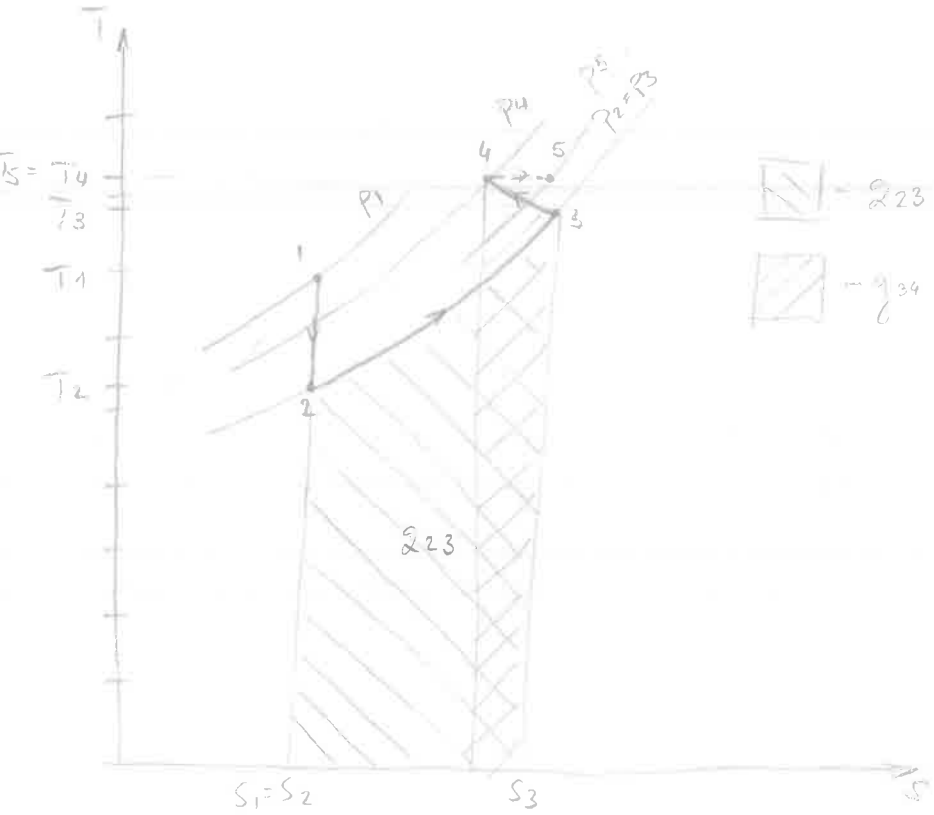
$$P_k = P_{34} = q_{mH} \cdot \frac{n \cdot R_H}{n-1}(T_3 - T_4) = 0{,}3321 \cdot \frac{1{,}0738 \cdot 0{,}209}{1{,}0738 - 1}(383{,}24 - 408{,}15) = -25{,}16\,kW$$

$$p_5 \cdot q_{vH5} = q_{nH} \cdot R_m \cdot T_5$$

$$q_{vH5} = \frac{\frac{30}{3600} \cdot 8314 \cdot 408{,}15}{2{,}5 \cdot 105} = 0{,}1131\,m^3/s$$



* izentropa je uvijek strmija od izoterme u p,v dijagramu
* kod nerawnotežnih promjena stanja nema šrafura u dijagramima
* kod prigušivanja idealnih plinova temperatura prije prigušivanja jednaka je temperaturi nakon prigušivanja zato jer je njihova entalpija funkcija temperature (detaljnije pogledati u knjizi)



2. $V = 900\,L = 900 \cdot 10^{-3}\,m^3$

$\vartheta_1 = 70°C \quad p_1 = 0{,}55\,MPa$

$\vartheta_2 = 85°C \quad p_2 = 0{,}95\,MPa$

$\vartheta_3 = 20°C$

$\vartheta_{ok} = 10°C$

$x_{N_2} = 0{,}57 \quad (x_{O_2} = 1 - x_{N_2} = 0{,}43)$

$\vartheta_M = \vartheta_{ok} = 10°C$

$\vartheta_1, p_1,$ V_1	$\vartheta_2, p_2,$ V_2	$\vartheta_3, p_3,$ V_3
kisik	zrak	dušik

$$y_{N_2} = \frac{\frac{x_{N_2}}{M_{N_2}}}{\frac{x_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{x_{O_2}}{M_{O_2}}} = \frac{\frac{0{,}57}{28{,}016}}{\frac{0{,}57}{28{,}016} + \frac{0{,}43}{32}}$$

$y_{N_2} = 0{,}60224$

$y_{O_2} = 1 - y_{N_2} = 0{,}39776$

$V_1 = V_2 = V_3$

$V_1 = \frac{1}{3} \cdot V = 0{,}3\,m^3$

$p_1 V_1 = N_1 R_m T_1 \rightarrow N_1 = \frac{p_1 V_1}{R_m T_1} = 0{,}05783\,kmol$

$N_2 = \frac{p_2 V_2}{R_m T_2} = 0{,}09571\,kmol$

$N_3 = N_M - N_1 - N_2$

$N_3 = 0{,}04238\,kmol$

Zakon održanja količine tvari (ako nema kem. reakcija):

$N_1 + 0{,}21 N_2 = N_{O_2} \rightarrow N_{O_2} = 0{,}0573 + 0{,}21 \cdot 0{,}09571 = 0{,}07793\,kmol$

$0{,}79 N_2 + N_3 = N_{N_2} \qquad N_{O_2} = y_{O_2} \cdot N_M \rightarrow N_M = \frac{N_{O_2}}{y_{O_2}} = 0{,}19592\,kmol$

$\downarrow \quad N_{N_2} = 0{,}118\,kmol$

a) $p_M = \frac{N_M \cdot R_m \cdot T_M}{V_M} = \frac{0{,}19592 \cdot 8314 \cdot (273{,}15 + 10)}{0{,}9} = 5{,}125\,bar$

b) $p'_{O_2} = y_{O_2} \cdot p_M = 2{,}04\,bar$

$p'_{N_2} = y_{N_2} \cdot p_M = 3{,}085\,bar$

} parcijalni tlakovi kisika i dušika u mješavini

c) $Q_{12} = U_2 - U_1$

$c_{mvzr} = c_{upzr} - R_m = 20{,}76\,kJ/kmolK$

$c_{mvO_2} = c_{upO_2} - R_m = 20{,}96\,kJ/kmolK$

$c_{mvN_2} = c_{upN_2} - R_m = 20{,}8\,kJ/kmolK$

$U_2 = N_{O_2} \cdot c_{mvO_2} \cdot T_M + N_{N_2} \cdot c_{mvN_2} \cdot T_M$

$U_2 = 0{,}07793 \cdot 20{,}96 \cdot 283{,}15 + 0{,}118 \cdot 20{,}8 \cdot 283{,}15 = 1157{,}46\,kJ$

$U_1 = N_1 \cdot c_{mvO_2} T_1 + N_2 \cdot c_{mvzr} T_2 + N_3 \cdot c_{upN_2} \cdot T_3$

$U_1 = 0{,}0573 \cdot 20{,}96 \cdot 343{,}15 + 0{,}09571 \cdot 20{,}76 \cdot 358{,}15 + 0{,}04238 \cdot 20{,}8 \cdot 293{,}15 = 1382{,}16\,kJ$

$Q_{12} = 1157{,}46 - 1382{,}16 = -224{,}7\,kJ$

3. $p_1 = 70\,bar \quad \vartheta_1 = 400°C$

$p_2 = 7\,bar$

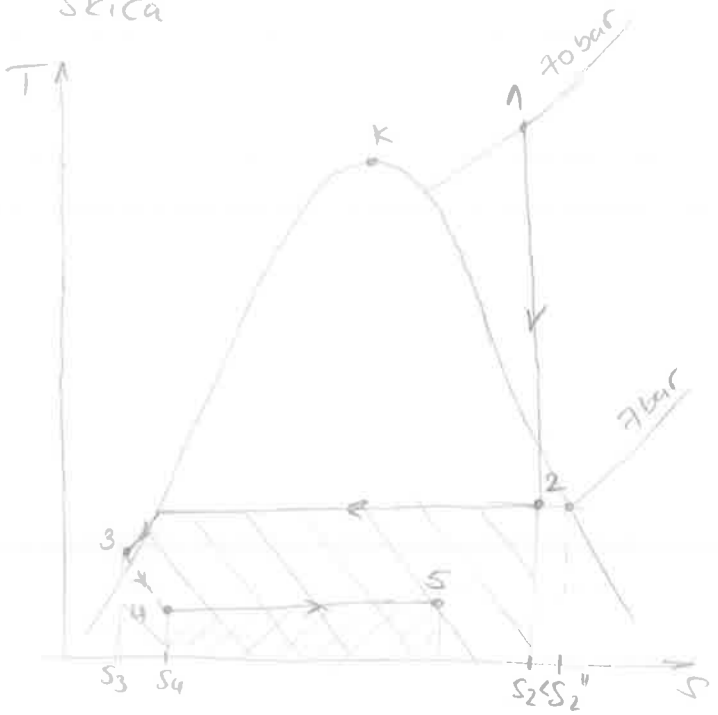
$p_2 = p_3 \quad \vartheta_3 = 160°C$

$p_4 = 1{,}2\,bar$

$\dot{S}_4 - \dot{S}_3 = 2{,}2\ W/K$

$x_5 = 1 - 0{,}2 = 0{,}18$

skica



① $s_1 = 6{,}4501\ kJ/kgK$

$h_1 = 3159{,}1\ kJ/kg$

② $s_2 = s_1 = 6{,}4501\ kJ/kgK$

$s_2'' = 6{,}707\ kJ/kgK$ (za 7 bar)

$s_2'' > s_2 \Rightarrow$ točka 2 se nalazi u mokrom području

$\vartheta_2 = 164{,}95°C$

$h_2 = h_2' + x_2(h_2'' - h_2') = 697{,}14 + 0{,}9455 \cdot (2762{,}75 - 697{,}14) = 2650{,}17\ kJ/kg$

$x_2 = \dfrac{s_2 - s_2'}{s_2'' - s_2'} = \dfrac{6{,}4501 - 1{,}9921}{6{,}707 - 1{,}9921} = 0{,}9455$

③ $\vartheta_3 = 160°C$

$p_3 = p_2 = 7\,bar$

$s_3 = 1{,}9427\ kJ/kgK$ } toplinske tablice str. 12

$h_3 = 675{,}62\ kJ/kg$ }

④ $h_3 = h_4$ (vrijedi za prigušivanje)

$p_4 = 1{,}2\,bar \Rightarrow \vartheta_4 = 104{,}78°C$

$h_4 = h_4' + x_4(h_4'' - h_4')$

$x_4 = \dfrac{h_4 - h_4'}{h_4'' - h_4'} = \dfrac{675{,}62 - 439{,}299}{2683{,}06 - 439{,}299} = 0{,}105 \Rightarrow s_4 = s_4' + x_4(s_4'' - s_4') = 1{,}984\ kJ/kgK$

⑤ $p_5 = 1{,}2\,bar \quad \vartheta_5 = 104{,}78°C$

$h_5 = h_5' + x_5(h_5'' - h_5') = 439{,}299 + 0{,}18(2683{,}06 - 439{,}299) = 2234{,}31\ kJ/kg$

a) $\dot{S}_4 - \dot{S}_3 = q_m \cdot (s_4 - s_3)$

$q_m = \dfrac{\dot{S}_4 - \dot{S}_3}{s_4 - s_3} = \dfrac{2{,}2}{(1{,}984 - 1{,}9427)\ 10^3} = 0{,}0533\ kg/s$

438,05

$P_T = P_{12} = q_m(h_1 - h_2) = 0{,}0533 \cdot (3159{,}1 - 2650{,}17) = 27{,}13\ kW$

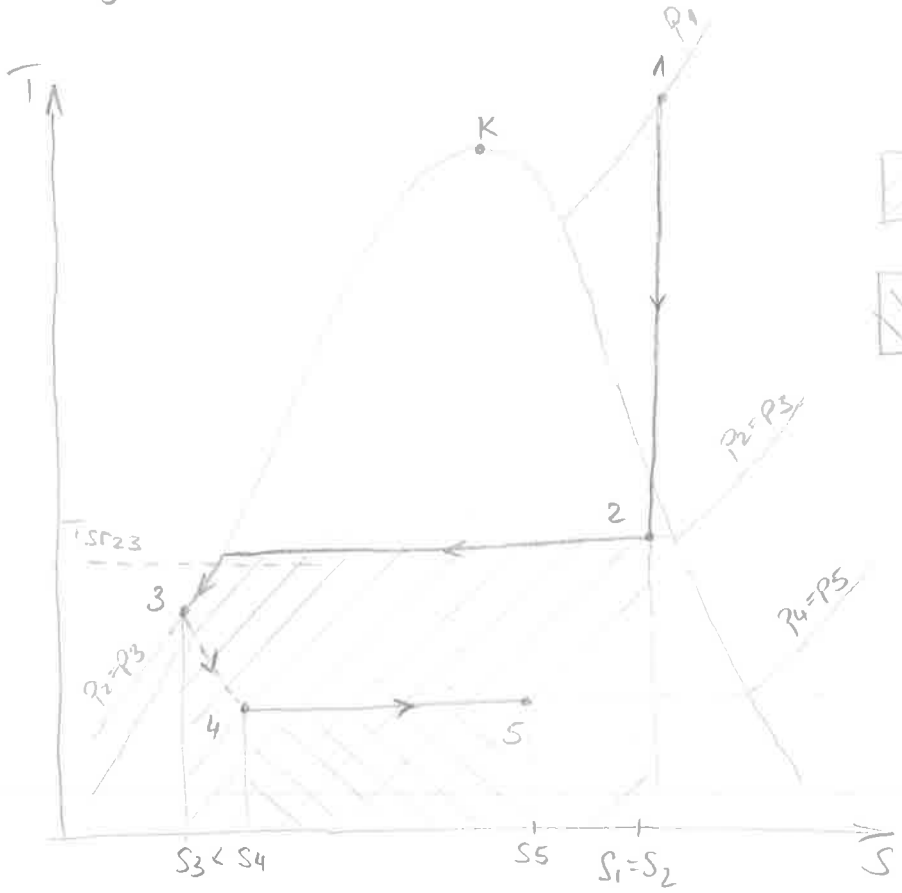
$\dot{Q}_\epsilon = \dot{Q}_{23} = q_m(h_3 - h_2) = 0{,}0533(675{,}62 - 2650{,}17) = -105{,}24\ kW$

toplina se odvodi od 2 do 3

$T_{sr23} = \dfrac{\dot{Q}_{23}}{\dot{S}_3 - \dot{S}_2} = \dfrac{\frac{\dot{Q}_{23}}{q_m}}{S_3 - S_2} = \dfrac{\frac{-105{,}24}{0{,}0533}}{1{,}9427 - 6{,}4501} = 438{,}05\,K \quad (\vartheta_{sr23} = 164{,}9°C)$

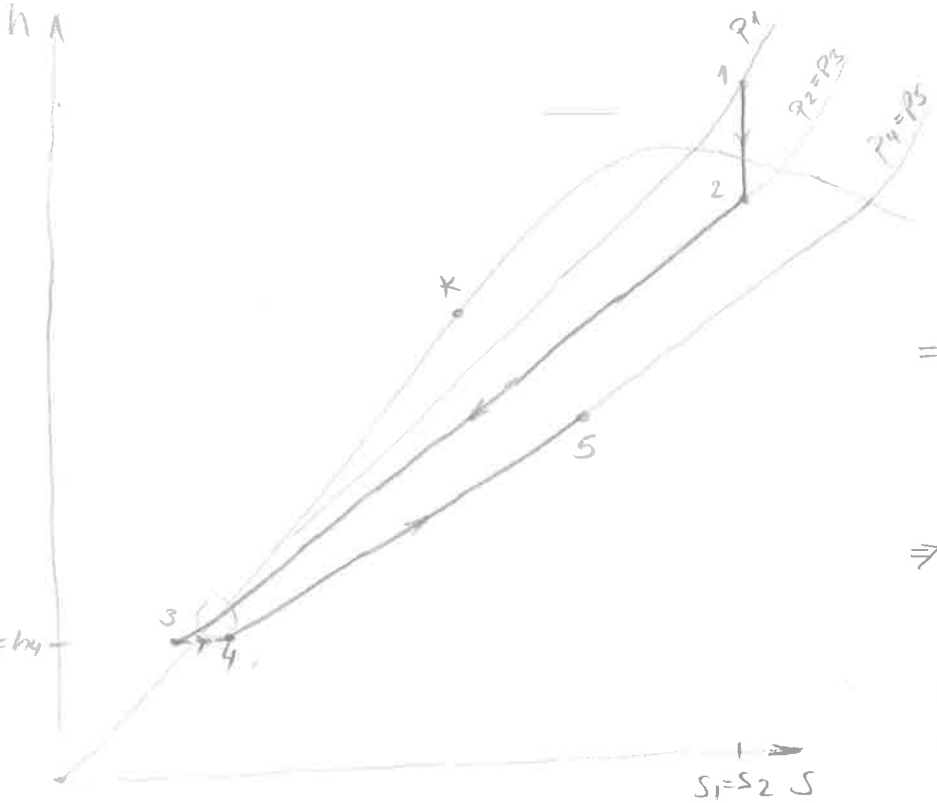
b) $\dot{Q}_{45} = q_m(h_5 - h_4) = 0{,}0533 \cdot (2234{,}31 - 675{,}62) = 83{,}08\ kW$

3. DIJAGRAMI



- q_{23}

- q_{45}



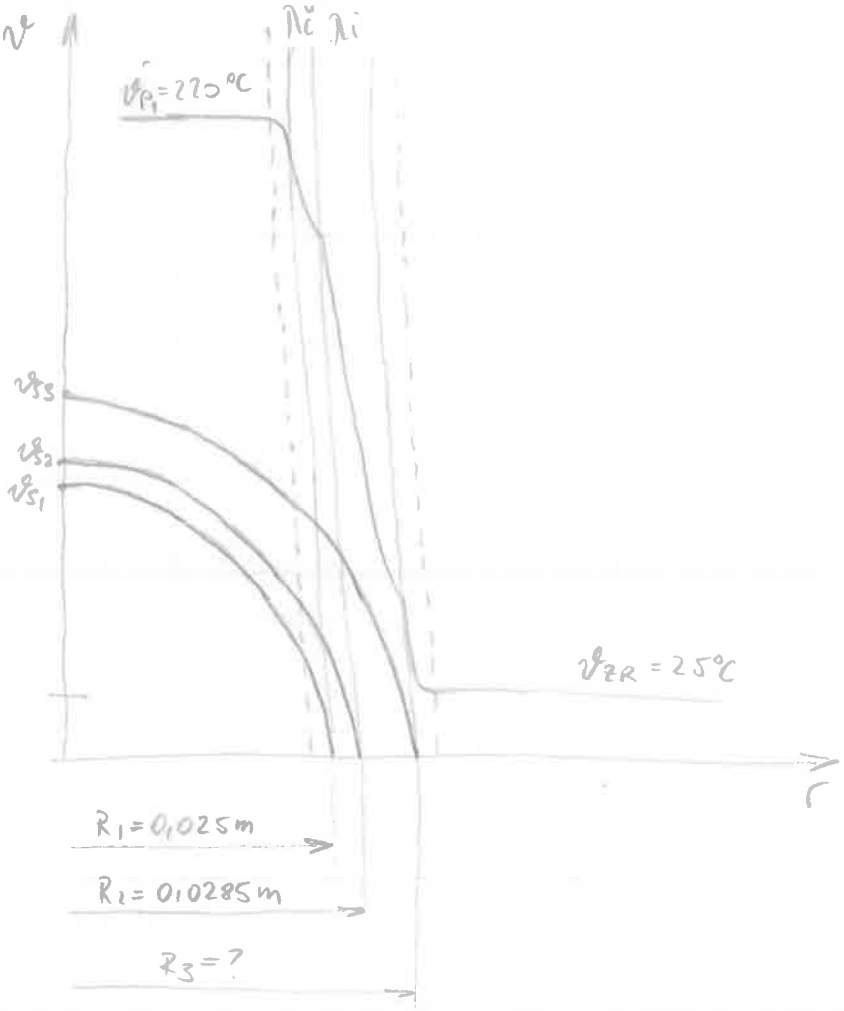
⇒ izobare su pravci u mokrom području h-s dijagrama!

⇒ kod prijelaza iz mokrog u pothlađeno područje ne smije biti loma krivulje, već ona mora biti tangentna na pravac u mokrom području

TOČNO

KRIVO

4. $d_u/d_v = 50/57$ mm ($\lambda_č = 58$ W/mK)
$L = 70$ m
$w = 7$ m/s
$p_p = 10$ bar $\quad \vartheta_{p_1} = 220$ °C
$\lambda_i = 2{,}1$ W/mK
$\vartheta_{ze} = 25$ °C
$\alpha_v = 30$ W/m²K
$\Phi_z = \phi$



$\delta_i = ?$ da ne dođe do kond.

a) $\vartheta_{s_1} = \vartheta_p' = 179{,}89$ °C (za 10 bar)

najniža temp. kod koje još nema kondenzacije (granični slučaj)

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu}$$

TT str. 46. za 220°C

$\gamma = 4{,}6083$ kg/m³
$c_p = 2{,}3105$ kJ/kgK
$\lambda = 0{,}03835$ W/mK
$\mu = 16{,}76 \cdot 10^{-6}$ Pas
$Pr = 1{,}0098$
$\nu = \frac{\mu}{\gamma} = 3{,}637 \cdot 10^{-6}$ m²/s

$$Re = \frac{7 \cdot 0{,}05}{3{,}637 \cdot 10^{-6}} = 96233 > 3.000 \rightarrow \text{TURBULENTNO STRUJANJE}$$

$$Nu = \frac{\alpha_u \cdot d_u}{\lambda} \qquad Nu = \frac{0{,}0308 \cdot Pr \cdot Re^{0.75}}{1 + 1{,}74 \cdot Re^{-0.125} \cdot (Pr - 1)} = 218{,}7$$

$$\alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{218{,}7 \cdot 0{,}03835}{0{,}05} = 167{,}74 \text{ W/m²K}$$

$$\Phi_{max} = \frac{(\vartheta_{p_1} - \vartheta_{s_1}) \cdot 2\pi L}{\frac{1}{R_1 \cdot \alpha_u}} = \frac{(220 - 179{,}89) \cdot 2\pi \cdot 70}{\frac{1}{0{,}025 \cdot 167{,}74}} = 73{,}98 \text{ kW}$$

$$\Phi_{max} = \frac{(\vartheta_{s_1} - \vartheta_{ze}) 2\pi L}{\frac{1}{\lambda_č} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_i} \ln\frac{R_3}{R_2} + \frac{1}{R_3 \cdot \alpha_v}} \xrightarrow{\text{SOLVE}} R_3 = 0{,}05523 \text{ m}$$

$$\delta_i = R_3 - R_2 = 0{,}0267 \text{ m} = 26{,}7 \text{ mm}$$

b) $q_{vp} = A \cdot w = \frac{d_u^2 \pi}{4} \cdot w = 0{,}01374$ m³/s
$q_{mp} = q_{vp} \cdot \gamma = 0{,}01374 \cdot 4{,}6083 = 0{,}0633$ kg/s

$$\Phi = q_{mp} \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta_p \cdot L$$

$$\Delta\vartheta_p = \frac{\Phi}{q_{mp} \cdot c_p \cdot L} = \frac{73{,}98}{0{,}0633 \cdot 2{,}3105 \cdot 70} = 7{,}23 \text{ °C/m}$$

5. $n = 50$

skica:

$d_u/d_v = 26/30$ mm $\quad \lambda_{\check{c}} = 58\ W/m^2K$

$\alpha_v = 1200\ W/m^2K$

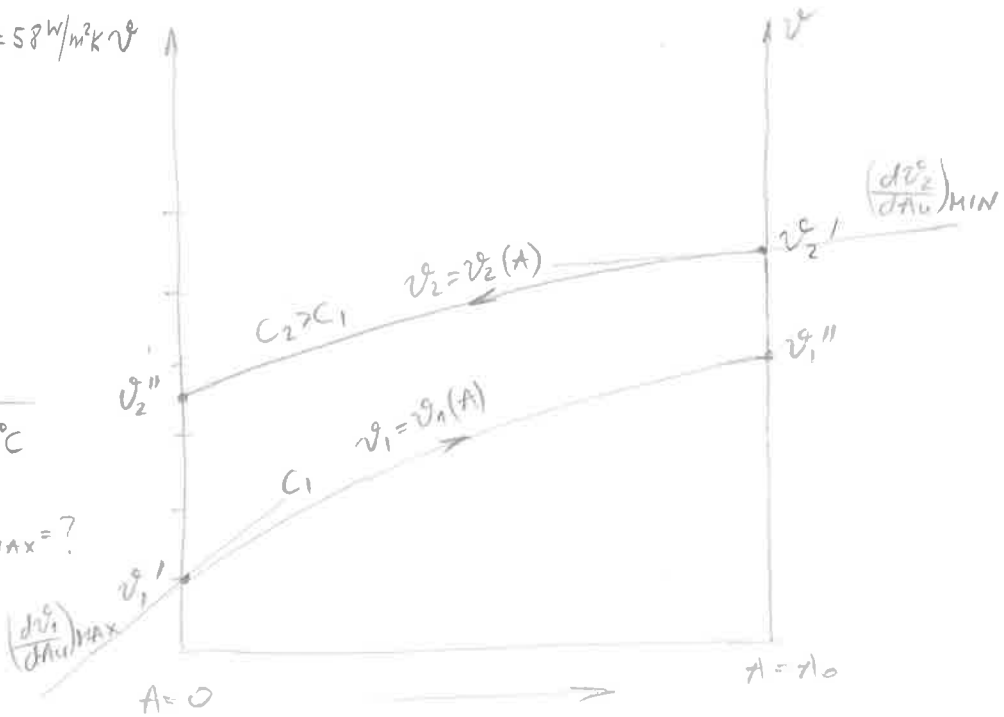
$\alpha_u = 800\ W/m^2K$

$q_{m_1} = 2,5\ kg/s$

$\vartheta_1' = 20°C$

$q_{m_2} = 3,4\ kg/s$

$\vartheta_2' = 110°C$



a) $L = ?$ $\quad \vartheta_2' - \vartheta_1'' = 30°C$

b) $\left(\frac{d\vartheta_2}{dA_u}\right)_{MIN} = ?$ $\quad \left(\frac{d\vartheta_1}{dA_u}\right)_{MAX} = ?$

a) iz skice se vidi da je najmanja razlika temperatura na izlaznom kraju struje ①

$\vartheta_2' - \vartheta_1'' = 30°C$

$\vartheta_1'' = \vartheta_1' - 30°C = 110 - 30 = 80°C$

$$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = \frac{20 - 80}{20 - 110} = \frac{2}{3}$$

očitano za srednje temp. TT str. 43.

$$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2}$$

$C_1 = q_{m_1} \cdot c_{p_1} = 2,5 \cdot 4179,8 = 10449,5\ W/K$

$C_2 = q_{m_2} \cdot c_{p_2} = 3,4 \cdot 4205,1 = 14297,3\ W/K$

$$\Pi_3 = \frac{10449,5}{14297,3} = 0,73087$$

$$\Pi_2 = \frac{\ln \frac{1 - \Pi_1}{1 - \Pi_1 \cdot \Pi_3}}{-(1 - \Pi_3)} = 1,6$$

→ vrijedi za protusmjerni izmjenjivač topline

$$\Pi_2 = \frac{k_u \cdot A_u}{C_1} = \frac{k_u \cdot d_u \pi \cdot L \cdot n}{C_1}$$

$$L = \frac{\Pi_2 \cdot C_1}{d_u \pi \cdot n \cdot k_u}$$

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{r_u}{\lambda_{\check{c}}} \ln \frac{r_v}{r_u} + \frac{r_u}{r_v \cdot \alpha_v}} = \frac{1}{\frac{1}{800} + \frac{0,013}{58} \ln \frac{0,015}{0,013} + \frac{0,013}{0,015 \cdot 120}}$$

$$L = \frac{1,6 \cdot 10449,5}{0,026\pi \cdot 50 \cdot 498,93}$$

$k_u = 498,93\ W/m^2K$

$L = 8,2\ m$

b) $C_2 \cdot d\vartheta_2 = k_u \cdot (\vartheta_2' - \vartheta_1'') \cdot dA_u$

$$\left(\frac{d\vartheta_2}{dA_u}\right)_{MIN} = \frac{k_u(\vartheta_2' - \vartheta_1'')}{C_2} = \frac{498{,}93 \cdot 30}{14297{,}3} = 1{,}05\ °C/m^2$$

$C_1 \, d\vartheta_1 = k_u (\vartheta_2'' - \vartheta_1') \cdot dA_u$

$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dA_u}\right)_{MAX} = \frac{k_u \cdot (\vartheta_2'' - \vartheta_1')}{C_1} \qquad \frac{\vartheta_2'' - \vartheta_2'}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = \Pi_1 \cdot \Pi_3$$

$$\vartheta_2'' = \Pi_1 \cdot \Pi_3 \cdot (\vartheta_1' - \vartheta_2') + \vartheta_2'$$

$$\vartheta_2'' = 66{,}15\ °C$$

$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dA_u}\right)_{MAX} = \frac{498{,}93 \cdot (66{,}15 - 20)}{10449{,}5} = 2{,}2\ °C/m^2$$

6. $q_{ma} = 100\ kg/h$
$y_{C_2H_6} = 0{,}4$
$y_{C_3H_8} = 0{,}05$
$y_{CH_4} = 0{,}55$
$\vartheta_a = \vartheta_z = 0\ °C$
$p = 1\ bar$
$\vartheta_{izg} = 1200\ °C$
$\Phi_{odv} = \dot{Q}$
$\vartheta_{ap} = 200\ °C$
$\vartheta_{ok} = 0\ °C$

$\lambda = ?\ \ \Phi_{osj} = ?\ \ \vartheta_{roud} = ?$

$M_G = y_{C_2H_6} \cdot M_{C_2H_6} + y_{C_3H_8} \cdot M_{C_3H_8} + y_{CH_4} \cdot M_{CH_4} = 23{,}05\ kg/kmol$

$$q_{nG} = \frac{q_{ma}}{M_a} = \frac{\frac{100}{3600}}{23{,}05} = 1{,}205 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$$

$\Delta H_{izd} = \sum y_i \cdot H_{izdi} = 1114{,}625\ MJ/kmol$
TT str. 60

$1\,kmol\,CH_4 + 2\,kmol\,O_2 \longrightarrow 1\,kmol\,CO_2 + 2\,kmol\,H_2O$
$1\,kmol\,C_2H_6 + 3{,}5\,kmol\,O_2 \longrightarrow 2\,kmol\,CO_2 + 3\,kmol\,H_2O$
$1\,kmol\,C_3H_8 + 5\,kmol\,O_2 \longrightarrow 3\,kmol\,CO_2 + 4\,kmol\,H_2O$

$n_{CO_2} = 0{,}55 \cdot 1 + 0{,}4 \cdot 2 + 0{,}05 \cdot 3 = 1{,}5\ kmol_{CO_2}/kmol_G$
$n_{H_2O} = 0{,}55 \cdot 2 + 0{,}4 \cdot 3 + 0{,}05 \cdot 4 = 2{,}5\ kmol_{H_2O}/kmol_G$
$O_{min} = 0{,}55 \cdot 2 + 0{,}4 \cdot 3{,}5 + 0{,}05 \cdot 5 = 2{,}75\ kmol_{O_2}/kmol_G$
$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min} = 2{,}75\lambda - 2{,}75$
$n_{N_2} = 0{,}79\ z_{stv} = 0{,}79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0{,}21} = 10{,}345\lambda$

$$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta H_{izd} + [Cup_a]_0^{\vartheta_a} \cdot \vartheta_a + z_{stv} \cdot [Cup_z]_0^{\vartheta_z} \cdot \vartheta_z - |Q_{odv}|}{\sum n_i \cdot [Cup_i]_0^{\vartheta_{izg}}}$$

$$\sum n_i \cdot [Cup_i]_0^{\vartheta_{izg}} = n_{CO_2} \cdot [Cup_{CO_2}]_0^{1200} + n_{H_2O} \cdot [Cup_{H_2O}]_0^{1200} + n_{O_2} \cdot [Cup_{O_2}]_0^{1200} + n_{N_2} \cdot [Cup_{N_2}]_0^{1200}$$

$$\sum n_i \cdot [Cup_i]_0^{\vartheta_{izg}} = 1{,}5 \cdot 50{,}74 + 2{,}5 \cdot 39{,}825 + (2{,}75\lambda - 2{,}75) \cdot 33{,}633 + 10{,}345\lambda \cdot 31{,}828$$

$$\sum n_i \cdot [Cup_i]_0^{\vartheta_{izg}} = 83{,}182 + 421{,}75\lambda$$

6.

$$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta H_{mol}}{\sum n_i [cu_{pi}]_0^{\vartheta_{izg}}}$$

$$1200 = \frac{1114,625 \cdot 10^3}{421,75\lambda + 83,182} \xrightarrow{\text{SOLVE}} \lambda = 2,005$$

$$\Phi_{osj} = 2n_a \cdot \sum n_i [cu_{pi}]_0^{\vartheta_{dp}} \cdot (\vartheta_{ok} - \vartheta_{dp})$$

$$\sum n_i [cu_{pi}]_0^{\vartheta_{dp}} = 1,5 \cdot 40,059 + 2,5 \cdot 34,118 + (2,75 \cdot 2,005 - 2,75) \cdot 29,931 + 10,345 \cdot 2,005 \cdot 29,228$$

$$\sum n_i [cu_{pi}]_0^{\vartheta_{dp}} = 834,34 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\Phi_{osj} = 1,205 \cdot 10^{-3} \cdot 834,34 \cdot (0 - 200) = -201,1 \text{ kW}$$

do temperature kondenzacije dolazimo tako da izračunamo parcijalni tlak vodene pare u vlažnim dimnim plinovima i onda očitamo iz TT temperaturu zasićenja pri tom tlaku!

$$n_{vdp} = n_{H_2O} + n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{O_2} = 2,5 + 1,5 + 10,345 \cdot 2,005 + (2,75 \cdot 2,005 - 2,75) = 27,505 \text{ kmol sdp/kmol g}$$

$$y^*_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{vdp}} = \frac{2,5}{27,505} \Rightarrow 0,0909$$

$$p'_{H_2O} = y^*_{H_2O} \cdot p = 0,0909 \cdot 1 = 0,0909 \text{ bar} \rightarrow \text{TT str. 6. za } p = 0,0909 \text{ bar}, \; \vartheta_{kond} = 43,76\,^\circ\text{C}!$$

$$H_{2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{sdp}}$$

$$m_{vdp} = (1 + H_{2O}) \cdot M_{sdp}$$

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku

Zagreb, 2. srpnja 2018.

1. ZADATAK

Idealni plin, molarnog toplinskog kapaciteta C_{mp} = 30,4 kJ/(kmol K), obavlja sljedeći kružni proces:

Politropska kompresija 1 – 2 (n = 0,8);
Izohorno dovođenje topline 2 – 3 ;
Izobarno dovođenje topline 3 – 4 ;
Politropska ekspanzija 4 – 1 (n' = 1,5).

Zadani su sljedeći podaci: p_1 = 1 bar; ϑ_1 = 200 °C; p_2 = 4,5 bar; p_3 = 6 bar.
Izračunajte srednju temperaturu dovođenja i odvođenja topline u procesu i termički stupanj djelovanja procesa!
Proces prikazati u p,V_m- i T,S_m-dijagramu!

2. ZADATAK

Kompresor usisava 900 m^3/h plinske smjese kisika i ugljik dioksida, nepoznatih udjela i tlači je politropski. Izmjereno je stanje smjese u usisnom vodu 1 bar i 50 °C i u tlačnom vodu 10 bar i 200 °C. Za hlađenje cilindra kompresora koristi se 1800 kg/h rashladne vode koja se zagrije za 10 °C. Plinska smjesa se potom vodi u izmjenjivač topline u kojem se zagrijava na 300 °C.
Izračunajte snagu za pogon kompresora, toplinski tok doveden u izmjenjivaču topline i molni sastav smjese!
Skica procesa u p,v- i T,s-dijagramu!

3. ZADATAK

Parni kotao proizvodi 5 kg/s vodene pare tlaka 20 bar i temperature 350 °C koja se kroz cijev dovodi do turbine te se zbog trenja tlak do izlaza iz cijevi smanji za 2,5 bar. U turbini para adijabatski s trenjem ekspandira do okolišnog tlaka 1 bar. Izentropski stupanj djelovanja turbine je 0,85.
Koliko snage daje turbina i kakvo je stanje pare (x, h, s) na kraju ekspanzije? Kolika je temperatura pare nakon prigušivanja? Koliko m^3/s kapljevine ostaje nakon adijabatske ekspanzije u turbini?
Proces prikazati u T,s- i h,s-dijagramu!

4. ZADATAK

Žica promjera 0,5 mm ($\varepsilon_ž$ = 0,85) i duljine 30 cm zagrijava se električnom strujom (Jouleovom toplinom). Žica je koncentrično smještena unutar tankostjene metalne cijevi promjera 20 mm, koja se nalazi u velikoj prostoriji čiji zidovi imaju temperaturu 18 °C, a temperatura zraka u prostoriji je 23 °C. Emisijski faktor unutarnje površine cijevi je $\varepsilon_{c,u}$ = 0,8, a vanjske površine cijevi $\varepsilon_{c,v}$ = 0,2. Cijev je na krajevima zatvorena i evakuirana (zrakoprazna). Koeficijent konvektivnog prijelaza topline s vanjske površine cijevi na zrak iznosi 12 W/(m^2·K).
Ako je električni otpor žice 1,2 Ω, na koliki je najveći napon smijemo priključiti da temperatura cijevi koja ju okružuje ne prijeđe 70 °C? Kolika je pritom temperatura žice?

5. ZADATAK

Izmjenjivač topline je napravljen kao snop 40 čeličnih cijevi, promjera 20/25 mm i duljine 3 metra, smještenih u plaštu. U tom se izmjenjivaču treba zagrijati 22 000 kg/h vode od 15 °C na 55 °C. Voda se ravnomjerno raspoređuje na sve cijevi izmjenjivača i struji paralelno kroz njih.
Ogrjevni medij je suhozasićena vodena para koja kondenzira na vanjskim površinama cijevi (α_p = 8000 W/(m^2·K)).

a) Treba izračunati temperaturu kondenzacije pare te koliki je potrošak pare (kg/h)?
b) Računajući po m^2 vanjske površine cijevi, izračunajte gustoću toplinskog toka koja se izmjenjuje na ulaznom i onu na izlaznom kraju izmjenjivača!
c) Izračunajte derivaciju temperature slabije struje po površini na ulaznom i na izlaznom kraju izmjenjivača, izraženo po m^2 vanjske površine cijevi!

Raspored temperatura struja prikazati u ϑ,A-dijagramu!

$q_{ul} = k_v \cdot (\vartheta_z - \vartheta_1')$ - ULAZ
$q_{izl} = k_v \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1'')$ - IZLAZ

6. ZADATAK

U ložištu potpuno izgara 500 kg/h plinske smjese ulazne temperature 0 °C i molnog sastava: y_{CO} = 0,25; y_{H_2} = 0,1; y_{CH_4} = 0,05; y_{CO_2} = 0,15 i y_{N_2} = 0,45.
Faktor pretička zraka je 1,2.

a) Ako se stijenke ložišta hlade s 7000 kg/h vode (koja se pritom zagrije za 5 °C), a želimo u ložištu postići temperaturu 1500 °C, na koliku temperaturu moramo predgrijati zrak za izgaranje (pretpostaviti 130 °C)?
b) Koliki toplinski tok po izlasku iz ložišta oslobađaju dimni plinovi hlađenjem do 150 °C?

Za dimne plinove uzeti u obzir promjenu molarnog toplinskog kapaciteta s temperaturom.

(1.) 2. srpnja. 2018

$C_{mp} = 30,4\ kJ/kmol K$

$C_{mv} = C_{mp} - R_m$

$C_{mv} = 30,4 - 8,314 = 22,086\ kJ/kmol K$

$\varkappa = \frac{C_{mp}}{C_{mv}} = \frac{30,4}{22,086} = 1,3764$

$p_1 = 1\ bar$

$\vartheta_1 = 200°C$

$p_1 \cdot V_{m1} = R_m \cdot T_1$

$V_{m1} = \frac{R_m \cdot T_1}{p_1}$

$V_{m1} = \frac{8314 \cdot 473,15}{1 \cdot 10^5}$

$V_{m1} = 39,34\ m^3/kmol$

$p_2 = 4,5\ bar$

$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$T_2 = 473,15 \cdot \left(\frac{4,5}{1}\right)^{\frac{0,8-1}{0,8}}$

$T_2 = 324,86\ K$

$V_{m2} = 6,002\ m^3/kmol$

$p_3 = 6\ bar$

$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2}$

$T_3 = T_2 \cdot \frac{p_3}{p_2}$

$T_3 = 324,86 \cdot \frac{6}{4,5}$

$T_3 = 433,15\ K$

$V_{m3} = V_{m2}$

$p_4 = 6\ bar$

$\frac{T_1}{T_4} = \left(\frac{p_1}{p_4}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$T_4 = \frac{T_1}{\left(\frac{p_1}{p_4}\right)^{\frac{n-1}{n}}}$

$T_4 = \frac{473,15}{\left(\frac{1}{6}\right)^{\frac{1,5-1}{1,5}}}$

$T_4 = 859,77\ K$

$Q_{1-2,m} = C_{mv} \cdot \frac{n-\varkappa}{n-1}(T_2 - T_1)$

$Q_{1-2,m} = 22,086 \cdot \frac{0,8-1,3764}{0,8-1}(324,86 - 473,15)$

$Q_{1-2,m} = -9438,9\ kJ/kmol$

$Q_{2-3,m} = C_{mv} \cdot (T_3 - T_2)$

$Q_{2-3,m} = 22,086(433,15 - 324,86)$

$Q_{2-3,m} = 2391,69\ kJ/kmol$

$Q_{3-4,m} = C_{mp} \cdot (T_4 - T_3)$

$Q_{3-4,m} = 30,4 \cdot (859,77 - 433,15)$

$Q_{3-4,m} = 12\,969,2\ kJ/kmol$

$Q_{4-1,m} = C_{mv} \cdot \frac{n-\varkappa}{n-1} \cdot (T_1 - T_4)$

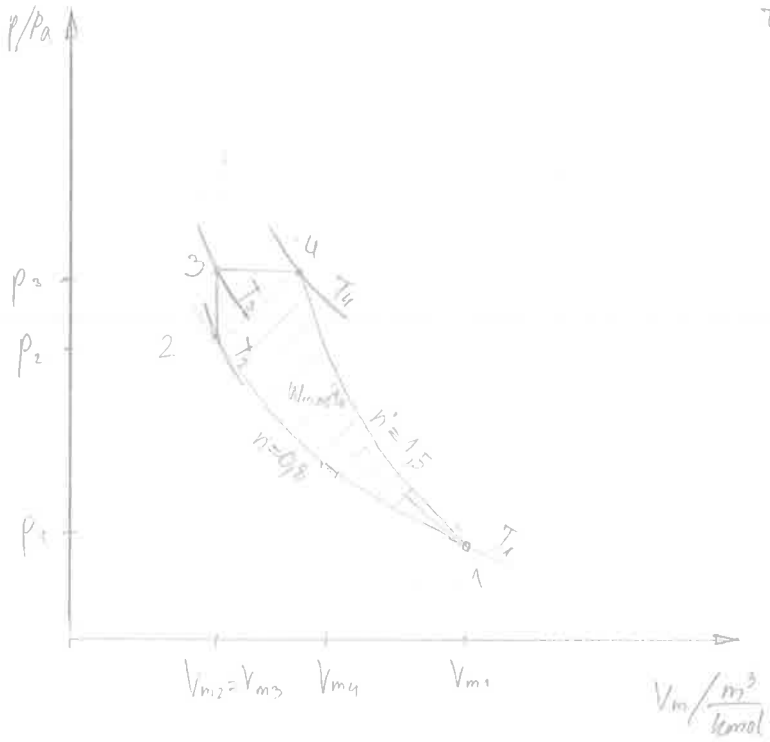
$Q_{4-1,m} = 22,086 \cdot \frac{1,5-1,3764}{1,5-1}(473,15 - 859,77)$

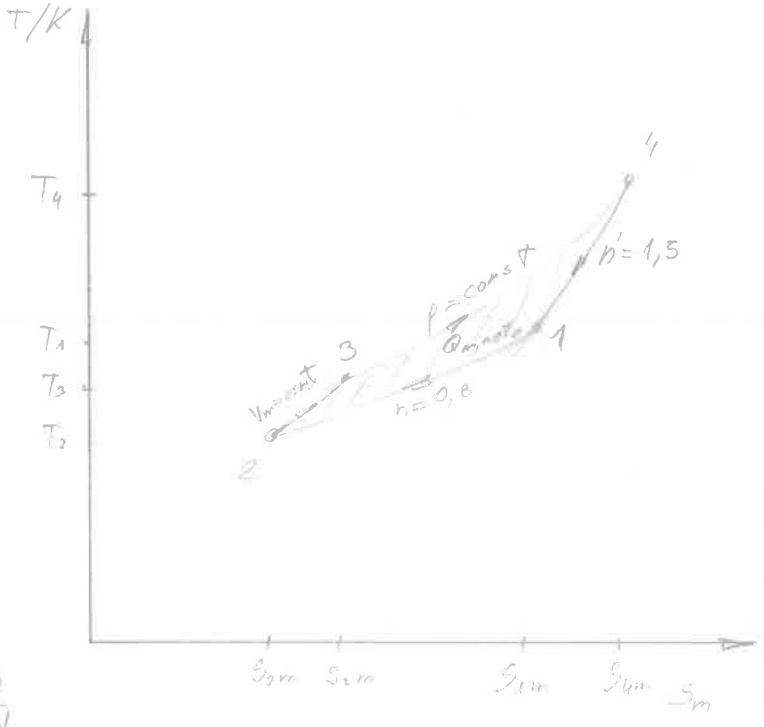
$Q_{4-1,m} = -2110,8\ kJ/kmol$

$T_{sr,dov} = \frac{Q_{2-3,m} + Q_{3-4,m}}{S_{3m} - S_{2m} + S_{4m} - S_{3m}} = \frac{Q_{2-3,m} + Q_{3-4,m}}{C_{mp} \ln\frac{T_4}{T_2} - R_m \ln\frac{p_4}{p_2}} = \frac{2391,69 + 12\,962,2}{30,4 \ln\frac{859,77}{324,86} - 8,314 \ln\frac{6}{1,5}} = 850,08$

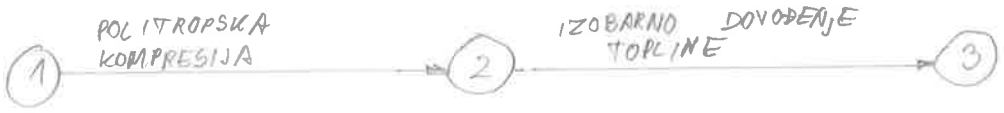
$T_{sr,odv} = \frac{Q_{1-2,m} + Q_{4-1,m}}{S_{2m} - S_{1m} + S_{1m} - S_{4m}} = \frac{-9438,9 - 2110,8}{30,4 \ln\frac{324,86}{859,77} + 8,314 \ln\frac{4,5}{6}} = 424,69\ K$

$\eta = 1 - \frac{T_{sr,odv}}{T_{sr,dov}} = 1 - \frac{424,69}{850,08} = 0,5$


p/Pa
p3
p2
p1
3
4
2
1
T4
T3
T2
T1
Wmoto
n'=1,5
n=0,8
Vm2=Vm3
Vm4
Vm1
Vm/m³/kmol


T/K
T4
T1
T3
T2
4
3
2
1
p=const
Qmoto
n'=1,5
n=0,8
Vm=const
S2m
S3m
S1m
S4m
Sm

2.



$g_{v1} = 900\ m^3/h$ $\quad p_2 = 10\ bar$ $\quad \vartheta_3 = 300°C$

$p_1 = 1\ bar$ $\quad \vartheta_2 = 200°C$

$\vartheta_1 = 50°C$

$p_1 \cdot g_{v1} = g_n \cdot R_m \cdot T_1$ $\quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{n}{n-1}}$

$g_n = \frac{p_1 \cdot g_{v1}}{R_m \cdot T_1}$ $\quad \frac{10}{1} = \left(\frac{473,15}{323,15}\right)^{\frac{n}{n-1}}$

$g_n = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot \frac{900}{3600}}{8314 \cdot 323,15}$ $\quad n = 1,1985$

$g_n = 9,3052 \cdot 10^{-3}\ \frac{kmol}{s}$

$g_{m,H_2O} = 1800\ kg/h, \quad \Delta\vartheta_{H_2O} = 10°C$

$\Phi_{1-2} = -\Phi_{RW}$

$\Phi_{1-2} = -g_{m,H_2O} \cdot c_w \cdot \Delta\vartheta$

$\Phi_{1-2} = -\frac{1800}{3600} \cdot 4187,5 \cdot 10$

$\Phi_{1-2} = -20\,937,5\ W$

$P_{1-2} = n \cdot \frac{p_1 \cdot g_{v1}}{n-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]$

$P_{1-2} = 1,1985 \cdot \frac{1 \cdot 10^5 \cdot \frac{900}{3600}}{1,1985 - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{1,1985-1}{1,1985}}\right]$

$P_{1-2} = -70\,080,33\ W$

I. glavni stavak

$\Phi_{1-2} = g_n \cdot C_{mp,sm}(T_2 - T_1) + P_{1-2}$

$C_{mp,SMJESE} = \frac{\Phi_{1-2} - P_{1-2}}{g_n \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{-20\,937,5 - (-70\,080,33)}{9,3052 \cdot 10^{-3} \cdot (473,15 - 323,15)}$

$C_{mp,SMJESE} = 35\,208\ J/kmolK$

$\Phi_{2-3} = g_n \cdot C_{mp,SMJESE} \cdot (T_3 - T_2)$

$\Phi_{2-3} = 9,3052 \cdot 10^{-3} \cdot 35\,208 \cdot (573,15 - 473,15$

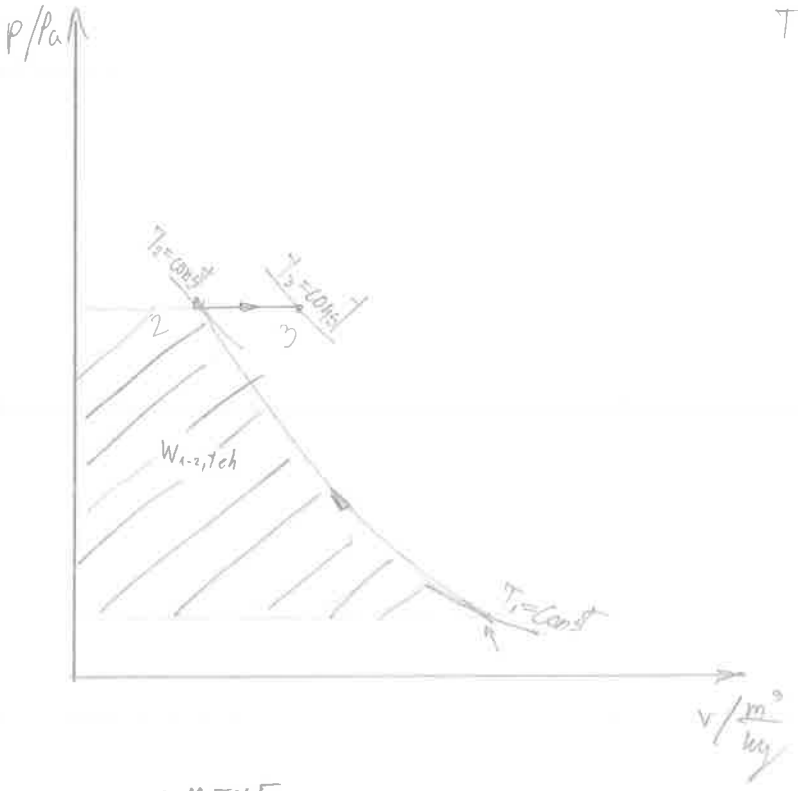
$\Phi_{2-3} = 32\,762\ W$

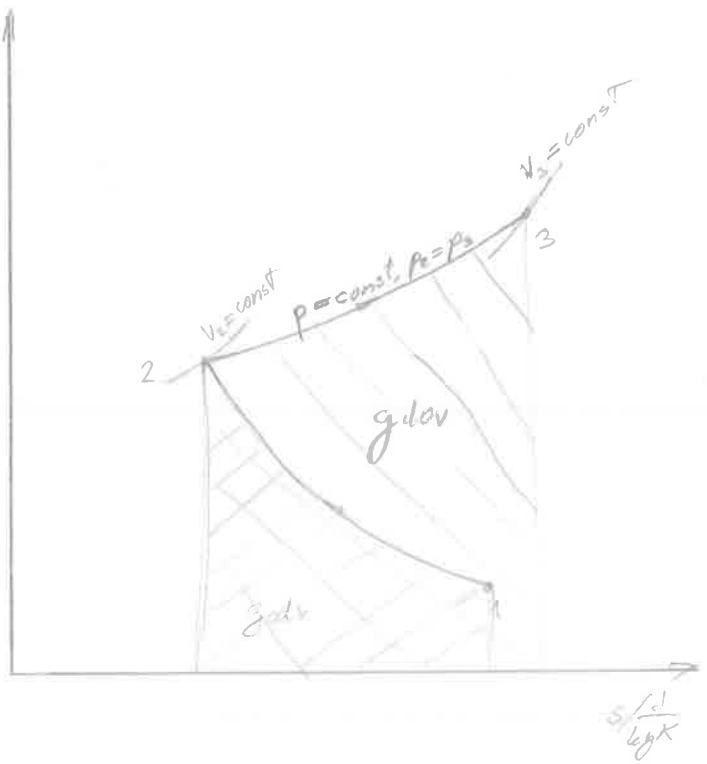
$C_{mp,SMJESE} = y_{O_2} \cdot C_{mp,O_2} + y_{CO_2} \cdot C_{mp,CO_2}$

$C_{mp,SMJESE} = (1 - y_{CO_2}) \cdot C_{mp,O_2} + y_{CO_2} \cdot C_{mp,CO_2}$

$35\,208 = (1 - y_{CO_2}) \cdot 29274 + y_{CO_2} \cdot 35\,860$

$y_{CO_2} = 0,901 \quad y_{O_2} = 0,099$





NAPOMENE

* tehnički rad se uvijek šrafira lijevo od promjena stanja
* izoterme kroz karakteristične točke se ne smiju sjeći kada bi se produžile u p,v dijagramu
* izohore su strmije od izobara u T,s dijagramu

3.

1 — PRIGOŠIVANJE — 2 — ADIJABATSKA EKSPANZIJA — 3

$g_{m,H_2O} = 5\ kg/s$

$p_1 = 20\ bar$

$\vartheta_1 = 350°C$

$h_1 = 3137,64\ kJ/kg$

$s_1 = 6,9582\ kJ/kgK$

OČITANO IZ TOPLINSKIH TABLICA

$p_2 = 17,5\ bar$

$\eta = 0,85$

$h_2 = h_1 = 3137,64\ kJ/kg$

$\vartheta_2 = 347°C \Rightarrow$ OČITANO IZ H,S DIJAGRAMA

$s_2 = 7,05\ kJ/kgK$

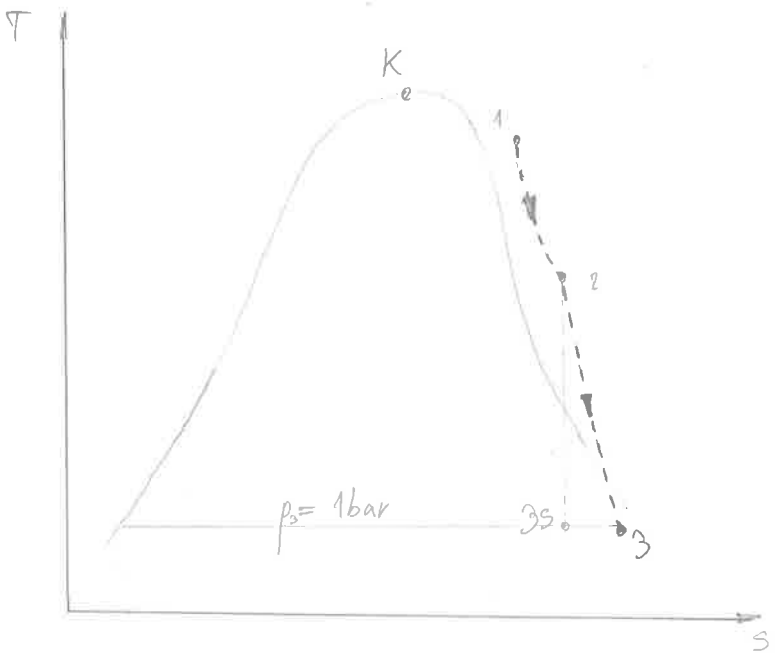
$p_3 = 1\ bar$

$s_{3s} = s_2 = 7,05\ kJ/kgK$

$h_{3s} = 2562\ kJ/kg$ → H,S DIJAGRAM

* za slučaj da se radi o ravnotežnoj adijabati (izentropi)

- pravu entalpiju ćemo izračunati preko iskoristivosti



$$\eta_t = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_{3s}}$$

$$0,85 = \frac{3137,64 - h_3}{3137,64 - 2562}$$

$$h_3 = 2648,346\ kJ/kg$$

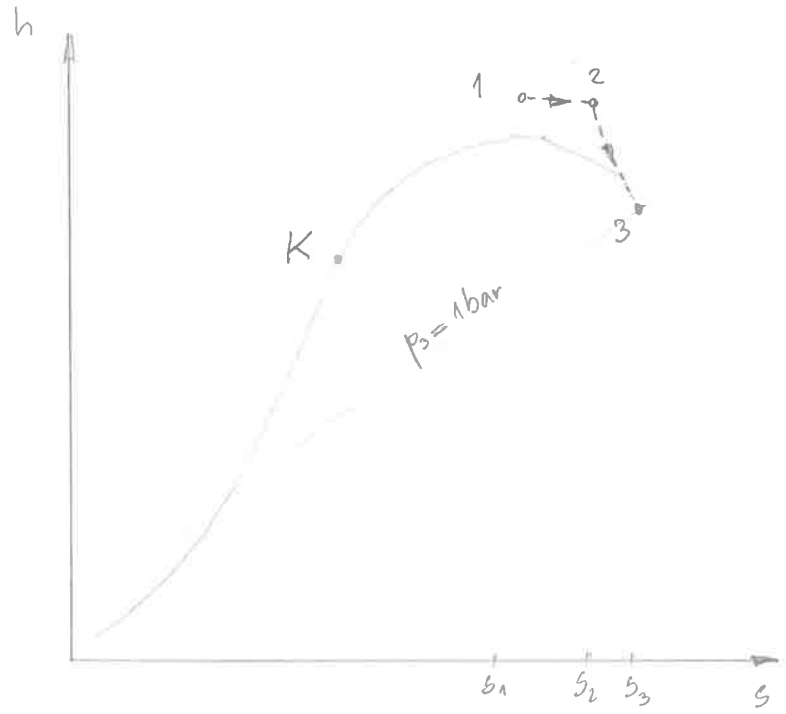
$$x_3 = \frac{h_3 - h_3'}{h_3'' - h_3'} = \frac{2648,346 - 417,436}{2674,95 - 417,436}$$

$$x_3 = 0,9882$$

$$s_3 = s_3' + x_3 \cdot (s_3'' - s_3')$$

$$s_3 = 1,3026 + 0,9882 \cdot (7,3588 - 1,3026)$$

$$s_3 = 7,2873\ kJ/kgK$$



$$P_t = g_m \cdot (h_2 - h_3) = 5 \cdot (3137,64 - 2648,346) = 2446,5\ kW$$

$$g_{m3}' = g_{m,H_2O} \cdot (1 - x_3)$$

$$g_{m3}' = 5 \cdot (1 - 0,9882)$$

$$g_{m3}' = 0,059\ kg/s$$

$$g_{V3}' = g_{m3}' \cdot v_3'$$

$$g_{V3}' = 0,059 \cdot 0,0010431$$

$$g_{V3}' = 6,1543 \cdot 10^{-5}\ m^3/s$$

(4.)

* tankostijena metalna cijev
⇒ nema otpora provođenju topline

⇒ postavljamo bilancu za stijenku

$\Phi_{dov} = \Phi_{odv}$

$\Phi_{zr1} = \Phi_{zr2} + \Phi_{KONV}$

$d_ž = 0,5\ mm$
$L = 30\ cm$
$\varepsilon_ž = 0,85$
$d_c = 20\ mm$
$T_{ZID} = 291,15\ K$
$T_{ZRAK} = 296,15\ K$
$\varepsilon_{c,u} = 0,8$
$\varepsilon_{c,v} = 0,2$
$\alpha_{k,v} = 12\ W/m^2K$
$R = 1,2\ \Omega$
$U_c = 70°C$

$$\omega = \frac{A_1}{A_2} = \frac{d_ž \cdot \pi \cdot L}{d_c \cdot \pi \cdot L}$$

$$\omega = \frac{0,5}{20} = 0,025$$

$$\frac{A_1 \cdot \sigma}{\frac{1}{\varepsilon_ž} + \omega\left(\frac{1}{\varepsilon_{c,u}} - 1\right)} \cdot \left[T_{ŽICE}^4 - T_{CIJEVI}^4\right] = \varepsilon_{c,v} \cdot A_2 \cdot \sigma \cdot \left(T_{CIJEVI}^4 - T_{ZID}^4\right) + \alpha_{k,v} \cdot A_2 \cdot \left(T_{CIJEVI} - T_{ZRAK}\right)$$

$$\frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 \cdot \pi \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0,85} + 0,025 \cdot \left(\frac{1}{0,8} - 1\right)} \left[T_{ŽICE}^4 - 343,15^4\right] = 0,2 \cdot 0,02 \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left(343,15^4 - 291,15^4\right) + 12 \cdot 0,02 \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot (343,15 - 296,15)$$

⇒ SOLVE

$T_{ŽICE} = 860,25\ K$ ⇒ ovrstimo u izraz za zračenje kako bi dobili ukupni toplinski tok

$$\Phi_{uk} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 \cdot \pi \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0,85} + 0,025\left(\frac{1}{0,8} - 1\right)} \cdot \left(860,25^4 - 343,15^4\right)$$

$\Phi_{uk} = 12,06\ W$

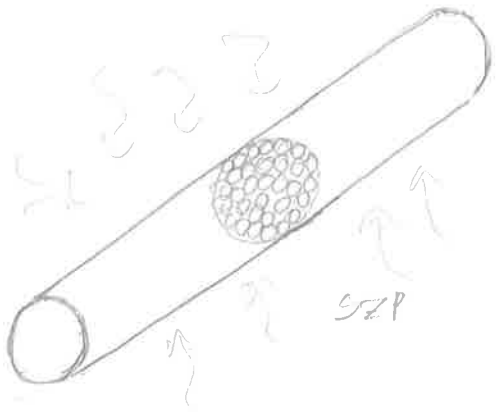
$$\Phi_{uk} = \frac{U^2}{R}$$

$$U = \sqrt{\Phi_{uk} \cdot R}$$

$$U = \sqrt{12,06 \cdot 1,2}$$

$U = 3,8\ V$

5.



$n = 40$ cijevi

$D_u / D_v = 20/25$ mm

$L = 3$ m

$q_{m,H_2O} = 22\,000$ kg/h

$\vartheta_1' = 15°C$

$\vartheta_1'' = 55°C$

$\alpha_v = 8000\ W/m^2K$

$$q_{v,H_2O} = \frac{q_{m,H_2O}}{\rho_{H_2O(\vartheta_m = 35°)}} \qquad \vartheta_m = \frac{\vartheta_1' + \vartheta_1''}{2} = \frac{15+55}{2} = 35°C$$

$$q_{v,H_2O} = \frac{\frac{22000}{3600}}{993,94} = 6,1484 \cdot 10^{-3}\ m^3/s$$

$$q^*_{v,H_2O\ (KROZ\ SVAKU\ CIJEV)} = \frac{q_{v,H_2O}}{n} = \frac{6,1484 \cdot 10^{-3}}{40} = 1,5371 \cdot 10^{-4}\ m^3/s$$

$$w = \frac{q^*_{v,H_2O}}{A_u} = \frac{1,5371 \cdot 10^{-4}}{\frac{0,02^2 \cdot \pi}{4}} = 0,4893\ m/s$$

A_u // površina unutarnjeg presjeka cijevi

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{w \cdot d_u}{\frac{\mu_{(\vartheta = 35°C)}}{\rho_{H_2O(\vartheta = 35°C)}}} = \frac{0,4893 \cdot 0,02}{\frac{719,31 \cdot 10^{-6}}{993,94}} = 13\,522,3$$

$L > 40\, d_u$

$3 > 40 \cdot 0,02$

IZOBRAŽENO TURBULENTNO STRUJANJE

$Pr = 4,823$

$$Nu = \frac{0,0398 \cdot Pr \cdot Re^{0,75}}{1 + 1,74 \cdot Re^{-0,125}(Pr - 1)}$$

$$Nu = \frac{0,0398 \cdot 4,823 \cdot 13\,522,3^{0,75}}{1 + 1,74 \cdot 13\,522,3^{-0,125} \cdot (4,823 - 1)}$$

$Nu = 79,55$

$$Nu = \frac{\alpha_u \cdot d_u}{\lambda_{(\vartheta = 35°C)}} \Rightarrow \alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_u} = \frac{79,55 \cdot 0,62329}{0,02} = 2479,14\ W/m^2K$$

za 35°C

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \frac{R_1}{\lambda_c} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_1}{R_2 \alpha_v}}$$

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{2479,14} + \frac{0,01}{58} \ln\frac{12,5}{10} + \frac{0,01}{0,0125 \cdot 8000}}$$

$k_u = 1845,57\ W/m^2K$

⇒ omjer toplinskih kapaciteta $C_1/C_2 = 0$

⇒ toplinski kapacitet struje koja mijenja agregatno stanje teži u beskonačno jer je temperatura duž cijele njene površine jednaka, $C_2 = \infty$

$$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = 0 \qquad \Pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{g_{m,H_2O} \cdot c_{w(v=55°C)}} = \frac{1845,57 \cdot 0,02 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 40}{\frac{22000}{3600} \cdot 4179,2} = 0,5449$$

($A_v = d_v \cdot \pi \cdot L \cdot n$)

$$\Pi_1 = 1 - e^{-\Pi_2} = 1 - e^{-0,5449} = 0,4201$$

$$\Pi_1 = \frac{v_1' - v_1''}{v_1' - v_2'} \qquad \Phi_{vk} = C_1 \cdot (v_1'' - v_1') \quad (C_1 = g_m \cdot c_w)$$

$$0,4201 = \frac{15 - 55}{15 - v_2'} \qquad \Phi_{vk} = \frac{22000}{3600} \cdot 4179,2 \cdot (55 - 15)$$

$$v_2' = 110,2\,°C \qquad \boxed{\Phi_{vk} = 1021,58\ kW}$$

$$|\Phi_{vk}| = g_{m,PARE} \cdot (h_{PP} - h_{VK})$$

$$g_{m,PARE} = \frac{|\Phi_{vk}|}{h_{PP} - h_{VK}} = \frac{1021,58}{2691,07 - 461,36}$$

$$\boxed{g_{m,PARE} = 0,4582\ kg/s = 1649,4}$$

$k_v = 1476,5\ W/m^2K$

$$g_{(ULAZ)} = k_v \cdot (v_2' - v_1') \qquad g_{(IZLAZ)} = k_v \cdot (v_2' - v_1'')$$

$$g_{(ULAZ)} = 1476,5 \cdot (110,2 - 15) \qquad g_{(IZLAZ)} = 1476,5 \cdot (110,2 - 55)$$

$$g_{(ULAZ)} = 140\,562,8\ W/m^2 \qquad g_{(IZLAZ)} = 81\,502,8\ W/m^2$$

$$\left(\frac{dv_1}{dA}\right)_{ULAZ} = \frac{k_v}{C_1} \cdot (v_2' - v_1')$$

$$\left(\frac{dv_1}{dA}\right)_{ULAZ} = \frac{1476,5}{\frac{22000}{3600} \cdot 4179,2} \cdot (110,2 - 15)$$

$$\left(\frac{dv_1}{dA}\right)_{ULAZ} = 5,5\ °C/m^2$$

$$\left(\frac{dv_1}{dA}\right)_{IZLAZ} = 3,19\ °C/m^2$$

IDE RAZLIK $(v_2' - v_1'')$

(6.)

$g_{m,G} = 500\ kg/h$

$\vartheta_G = 0°C$

$(n'_{CO})\ y_{CO} = 0,25$

$(n'_{CH_4})\ y_{CH_4} = 0,05$

$(n'_{H_2})\ y_{H_2} = 0,1$

$(n'_{CO_2})\ y_{CO_2} = 0,15$

$(n'_{N_2})\ y_{N_2} = 0,45$

$\lambda = 1,2$

$g_{m,H_2O} = 7000\ kg/h$

GORIVO POZNATOG KEM. SAST.

BILANCA PRIJE IZGARANJA

$n'_{C,uk} = n'_{CO} + n'_{CH_4} + n'_{CO_2}$

$n'_{C,uk} = 0,25 + 0,05 + 0,15$

$n'_{C,uk} = 0,45\ kmol_C/kmol_G$

$n'_H = n'_{H_2} + 2n'_{CH_4}$

$n'_H = 0,1 + 2 \cdot 0,05$

$n'_H = 0,2\ kmol_H/kmol_G$

$n'_H = n'_{N_2} = 0,45\ kmol/kmol_G$

$O_{min} = \frac{1}{2} \cdot (y_{CO} + y_{H_2}) + 2y_{CH_4}$

$O_{min} = \frac{1}{2} \cdot (0,25 + 0,1) + 2 \cdot 0,05$

$O_{min} = 0,275\ kmol/kmol_G$

BILANCA NAKON IZGARANJA

$n_{CO_2} = n'_{C,uk} = 0,45\ kmol/kmol_G$

$n_{H_2O} = n'_H + n'_W = 0,2\ kmol/kmol_G$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min} = (1,2 - 1)\ 0,275 = 0,055\ kmol/kmol_G$

$n_{N_2} = 0,79\ Z_{stv} + n'_n = 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0,21} + n'_n = 0,79 \cdot 1,2 \cdot \frac{0,275}{0,21} + 0,45$

$n_{N_2} = 1,691\ kmol/kmol_G$

$Z_{stv} = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0,21} = 1,5714\ \frac{kmol_{zr}}{kmol_G}$

$\Delta H_{rnd,G} = y_{CH_4} \cdot \Delta H_{rnd,CH_4} + y_{H_2} \cdot \Delta H_{rnd,H_2} + y_{CO} \cdot \Delta H_{rnd,CO}$

$\Delta H_{rnd,G} = 0,05 \cdot 802,3 + 0,1 \cdot 241,1 + 0,25 \cdot 283,3$

$\Delta H_{rnd,G} = 135,05\ MJ/kmol$

$g_{n,G} = \frac{g_{m,G}}{M_G} = \frac{\frac{500}{3600}}{0,25 \cdot 28,02 + 0,05 \cdot 16,04 + 0,1 \cdot 2,0156 + 0,15 \cdot 44,01 + 0,45 \cdot 28,016}$

$g_{n,G} = 5,103 \cdot 10^{-3}\ kmol/s$

$\Phi_{RW} = g_{m,H_2O} \cdot c_{w,H_2O} \cdot \Delta\vartheta_{H_2O}$

$\Phi_{RW} = \frac{7000}{3600} \cdot 4187,5 = 40\ 711,81\ W$

$\Phi_{odv} = -\Phi_{RW}$

$|g_{odv}| = \frac{|\Phi_{odv}|}{g_{n,G}} = \frac{40\ 711,81}{5,103 \cdot 10^{-3}}$

$|g_{odv}| = 7978,01\ \frac{kJ}{kmol}$

$$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta H_{rnd,g} + Z_{str} \cdot [C_{mp,zr}]_0^{\vartheta_{zr}} \cdot \vartheta_{zr} - |g_{odv}|}{\sum n_i \cdot [C_{mp,i}]_0^{\vartheta_{izg}}}$$

$$1500 = \frac{135,05 \cdot 10^3 + \frac{1,2 \cdot 0,275}{0,21} \cdot 29,1968 - 7978,01}{0,45 \cdot 52,348 + 0,2 \cdot 41,525 + 0,055 \cdot 34,282 + 1,691 \cdot 32,502}$$

$$\vartheta_{izg} = 130,56\ ^\circ C$$

$$\Phi_{dp} = g_{n,g} \cdot n_{vdp} \cdot [C_{mp,vdp}]_{150}^{1500} \cdot (\vartheta_{dp2} - \vartheta_{dp1})$$

$$\Phi_{dp} = 3,103 \cdot 10^{-3}\ 90,2995 \cdot (150 - 1500)$$

$$\boxed{\Phi_{dp} = -622,1\ kW}$$

Pismeni dio ispita iz Uvoda u termodinamiku

Zagreb, 4. rujna 2018.

1. ZADATAK

U posudi je zrak okolišnog stanja 1,02 bar i 15 °C. U posudu se utisne nepoznata količina nepoznatoga plina, tako da je pri okolišnoj temperaturi tlak u posudi 1,2 bar.

a) Izračunajte molni sastav nastale mješavine (molne udjele kisika, dušika i trećeg sudionika kojeg nije potrebno identificirati!)
b) Ako je taj nepoznati dodani plin također idealni dvoatomni plin ($\kappa = 1{,}4$), koliko topline (po kilomolu smjese) treba dovesti za njeno naknadno zagrijavanje u posudi od 15 °C do 100 °C?

2. ZADATAK

Dimni plinovi molnog sastava 11 % CO_2, 6 % H_2O, 7 % O_2 i 76 % N_2, početnog stanja 8 bar i 1000 °C, u plinskoj turbini ekspandiraju adijabatski s trenjem do okolišnog tlaka 1 bar tako da je izentropski stupanj djelovanja turbine 0,92, a potom se u izmjenjivaču topline hlade predajući toplinski tok vodi temperature 20 °C koja se pri tlaku 2 bar zagrijava do temperature 100 °C.
Izračunajte temperaturu dimnih plinova na kraju ekspanzije i na kraju hlađenja u izmjenjivaču, ako iskoristivost topline izmjenjivača treba biti 0,70. Za maseni protok dimnih plinova 20 000 kg/h, izračunajte snagu plinske turbine i maseni protok zagrijavane vode! Kolika bi bila snaga turbine kad trenja u turbini ne bi bilo?
Proces s dimnim plinovima skicirati u p,v- i T,s-dijagramu, a s vodom samo u T,s-dijagramu!

3. ZADATAK

Mokra vodena para temperature 150 °C i početnog ukupnog volumena 0,1 m^3, u kojoj vrela voda ima početni volumen 3 L, ekspandira u cilindru od početnog volumena do konačnog stanja, i to:

a) izentropski do tlaka 1 bar
b) izotermno do konačnog volumena jednakog onom izračunatom pod a)

Kolika je ukupna masa mokre pare i njen konačni volumen? Koliko rada obavi para svojim širenjem i koliko topline ona primi u tim dvama procesima?
Skica procesa u zajedničkom p,v-, T,s- i h,s-dijagramu!

4. ZADATAK

Kroz dugačku vodoravnu čeličnu cijev [$\lambda_č = 58$ W/(m·K)] promjera 20/24 mm struji kapljeviti amonijak temperature -20 °C brzinom 0,5 m/s. Cijev je izolirana s vanjske strane 30 mm debelom izolacijom [$\lambda_i = 0{,}08$ W/(m·K)]. Vanjska površina izolacije u dodiru je sa zrakom temperature 20 °C [$\alpha_{k,v} = 4{,}5$ W/(m^2·K)], a izložena je velikim plohama temperature 24 °C. Emisijski faktor vanjske površine izolacije je 0,9.
Izračunajte temperaturu vanjske površine izolacije i izmjenjivani toplinski tok po metru duljine cijevi! Na kolikom je radijusu temperatura jednaka 0 °C? Koliki je na tom radijusu gradijent temperature po radijusu?
Raspored temperatura po radijusu nacrtajte u ϑ,r-dijagramu!

5. ZADATAK

Protusmjerni izmjenjivač topline napravljen je kao snop od 30 paralelno spojenih čeličnih cijevi [$\lambda_č = 40$ W/(m·K)] promjera 25/30 mm, tako da toplija voda struji kroz cijevi, a hladnija duž cijevi s njihove vanjske strane. Koeficijent prijelaza topline na strani toplije vode je $\alpha_u = 1200$ W/(m^2·K), a na strani hladnije vode $\alpha_v = 900$ W/(m^2·K). U izmjenjivaču se zagrijava 1,2 kg/s hladnije vode ulazne temperature 20 °C, s pomoću 2,3 kg/s toplije vode ulazne temperature 110 °C.
Izračunajte potrebnu duljinu cijevnog snopa tako da promjena temperature toplije vode po duljini cijevi nigdje ne bude manja od 4 °C/m! Koliki je izmjenjivani toplinski tok u takvom izmjenjivaču? Kolike su izlazne temperature dviju struja? Koliko iznosi najveći temperaturni gradijent po površini izmjenjivača topline?
Raspored temperatura struja i izračunati temperaturni gradijent prikazati u ϑ,A-dijagramu!

6. ZADATAK

Plinovito gorivo sastavljeno od 80 % propana i 20 % butana potpuno izgara u neizoliranom ložištu. Ulazna temperatura goriva u ložište je 0 °C, a zraka 100 °C.
Koliki je faktor pretička zraka pri izgaranju ako je izmjeren molni udio ugljikovog dioksida u suhim dimnim plinovima 12 %? Za koliko posto je količina vlažnih dimnih plinova veća od količine suhih dimnih plinova? Ako je maseni protok goriva 100 kg/h, koliko toplinskog toka treba odvoditi kroz stijenke ložišta da bi temperatura dimnih plinova na izlasku iz ložišta bila 1400 °C?
Računati sa srednjim molarnim toplinskim kapacitetima.

1. $p_1 = 1{,}02$ bar
$\vartheta_1 = 15\,^\circ C$
$p_2 = 1{,}2$ bar
$\vartheta_2 = \vartheta_1 = 15\,^\circ C$

4. rujna 2018

---

a) $p'_{O_2} = y'_{O_2} \cdot p_1 = 0{,}21 \cdot 1{,}02 = 0{,}2142$ bar
$p'_{N_2} = y'_{N_2} \cdot p_1 = 0{,}79 \cdot 1{,}02 = 0{,}8058$ bar
} parcijalni tlakovi dušika i kisika prije utiskivanja nepoznatog plina

$$p'_{O_2} = y_{O_2} \cdot p_2 \rightarrow y_{O_2} = \frac{p'_{O_2}}{p_2} = \frac{0{,}2142}{1{,}2} = 0{,}1785 \text{ kmol/kmol}$$

$$p'_{N_2} = y_{N_2} \cdot p_2 \rightarrow y_{N_2} = \frac{p'_{N_2}}{p_2} = \frac{0{,}8058}{1{,}2} = 0{,}6715 \text{ kmol/kmol}$$

$$y_{O_2} + y_{N_2} + y_x = 1$$
$$y_x = 1 - 0{,}1785 - 0{,}6715$$
$$y_x = 0{,}15 \text{ kmol/kmol} \rightarrow \text{molni udio nepoznatog plina u mješavini}$$

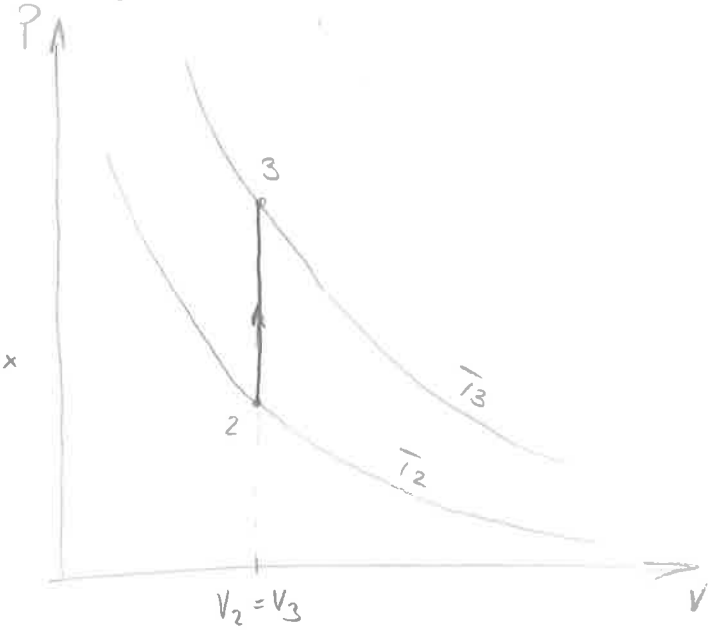
b) $\varkappa_x = 1{,}4$
$\vartheta_2 = 15\,^\circ C \quad \vartheta_3 = 100\,^\circ C$

$$\varkappa_x = \frac{c_{up_x}}{c_{mv_x}} = \frac{c_{up_x}}{c_{up_x} - R_m}$$

$$c_{up_x} = \frac{R_m \cdot \varkappa_x}{\varkappa_x - 1} = \frac{8{,}314 \cdot 1{,}4}{1{,}4 - 1} = 29{,}1 \frac{kJ}{kmol\,K}$$

$$c_{up_H} = \sum y_i c_{up_i} = y_{O_2} \cdot c_{up_{O_2}} + y_{N_2} \cdot c_{up_{N_2}} + y_x \cdot c_{up_x}$$
$$c_{up_H} = 29{,}14 \text{ kJ/kmol K}$$
$$c_{mv_H} = c_{up_H} - R_m = 20{,}83 \text{ kJ/kmol K}$$

skica



$$Q_{m_{2-3}} = c_{mv} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2)$$
$$Q_{m_{2-3}} = 20{,}83 \cdot (100 - 15) = 1770{,}55 \text{ kJ/kmol}$$

2.

$y_{CO_2} = 0,11$

$y_{H_2O} = 0,06$

$y_{O_2} = 0,07$

$y_{N_2} = 0,76$

$\eta_T = 0,92$

(1) ADIABATSKA EKSPANZIJA → (2) IZOBARNO HLAĐENJE → (3)

$p_1 = 8\,bar$

$\vartheta_1 = 1000°C$

$q_{m,dp} = 20\,000\,kg/h$

$p_2 = 1\,bar$

$T_{2s} = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

$T_{2s} = 1273,15 \cdot \left(\frac{1}{8}\right)^{\frac{1,3811-1}{1,3811}}$

$T_{2s} = 717,27\,K$

$\eta_T = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{2s}}$

$0,92 = \frac{1273,15 - T_2}{1273,15 - 717,27}$

$T_2 = 761,74\,K$

$\vartheta_2 = 488,59°C$

$\Phi_{2-3} = q_{m,dp} \cdot c_{mp,dp} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2)$

$\Phi_{2-3} = 0,1886 \cdot 30,131 \cdot (160,58 - 488,59)$

$\Phi_{2-3} = -1863,98\,kW$

(2') IZOBARNO ZAGRIJAVANJE VODE → (2'')

$\varepsilon = 0,7$

$\vartheta_{2'} = 20°C$ ULAZNA TEMP. SLABIJE STR.

$\vartheta_{2''} = 100°C$ IZLAZNA SL. STR.

$\varepsilon = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_3}{\vartheta_2 - \vartheta_{2'}} \Rightarrow \vartheta_3 = 160,58°C$

ϑ_2 ULAZNA TEMP. JAČE STRUJE

$c_{mp,dp} = y_{CO_2} \cdot c_{mp,CO_2} + y_{H_2O} \cdot c_{mp,H_2O} + y_{O_2} \cdot c_{mp,O_2} + y_{N_2} \cdot c_{mp,N_2}$

$c_{mp,dp} = 0,11 \cdot 35,86 + 0,06 \cdot 33,499 + 0,07 \cdot 29,274 + 0,76 \cdot 29,115$

$c_{mp,dp} = 30,131\,kJ/kmol\,K$, $c_{mv,dp} = 21,817\,kJ/kmol\,K$

$\kappa = \frac{c_{mp,dp}}{c_{mv,dp}} = \frac{30,131}{21,817} = 1,3811$

$M_{dp} = y_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + y_{H_2O} \cdot M_{H_2O} + y_{O_2} \cdot M_{O_2} + y_{N_2} \cdot M_{N_2}$

$M_{dp} = 0,11 \cdot 44,01 + 0,06 \cdot 18,02 + 0,07 \cdot 32 + 0,76 \cdot 28,01$

$M_{dp} = 29,454\,kg/kmol$

$P_{1-2} = q_{n,dp} \cdot c_{mp,dp} \cdot (T_1 - T_2)$

$P_{1-2} = 0,1886 \cdot 30,131 \cdot (1273,15 - 761,74)$

$q_{n,dp} = \frac{q_{m,dp}}{M_{dp}} = \frac{\frac{20\,000}{3600}}{29,454} = 0,1886\,\frac{kmol}{s}$

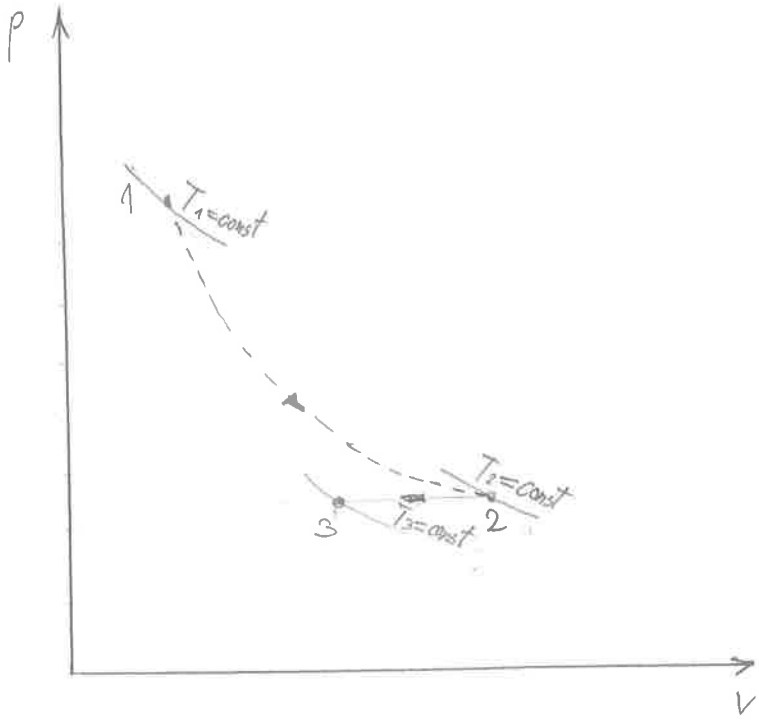
$P_{1-2} = 2906,19\,kW$

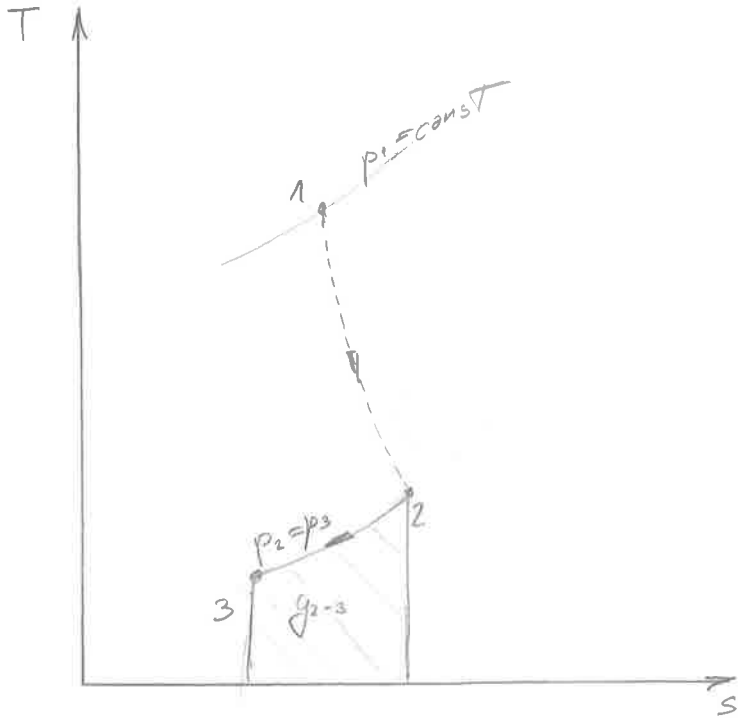
$q_{m,H_2O} = \frac{|\Phi_{2-3}|}{c_w \cdot (\vartheta_{2''} - \vartheta_{2'})} = \frac{|-1863,98|}{4,187 \cdot (100 - 20)} = 5,565\,kg/s$

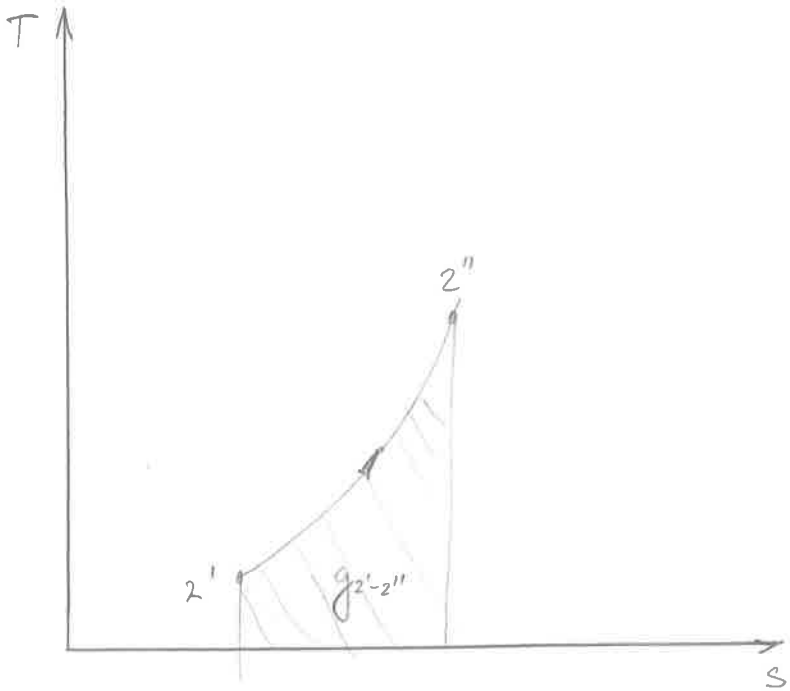
$P_{1-2} = q_{n,dp} \cdot c_{mp,dp} \cdot (T_1 - T_{2s})$

$P_{1-2} = 0,1886 \cdot 30,131 \cdot (1273,15 - 717,27)$

$P_{1-2} = 3158,9\,kW$ BEZ TRENJA

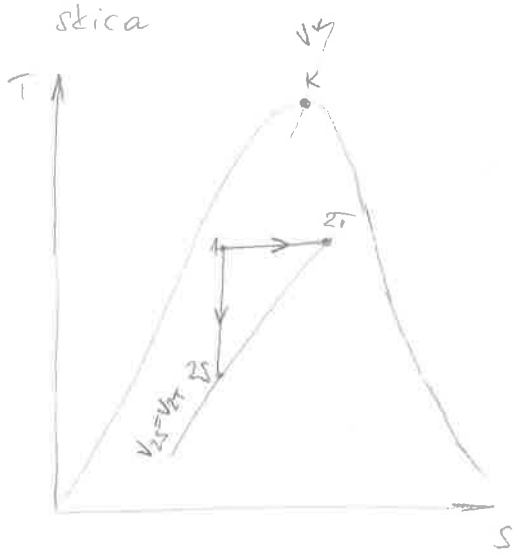

p
V
1
T_1=const
2
T_2=const
3
T_3=const


T
s
1
p_1=const
2
$p_2=p_3$
3
q_{2-3}


T
s
2''
2'
$q_{2'-2''}$

3. $\vartheta_1 = 150°C \quad p_1 = 4{,}761\ bar$

skica



$V_1 = 0{,}1\ m^3$

$V_1' = 0{,}003\ m^3$

$V_1'' = V_1 - V_1' = 0{,}097\ m^3$

TT str. 4.

$v_1' = 0{,}0010904\ m^3/kg$

$v_1'' = 0{,}3925\ m^3/kg$

$m_1' = \frac{V_1'}{v_1'} = \frac{0{,}003}{0{,}0010904} = 2{,}751\ kg$

$m_1'' = \frac{V_1''}{v_1''} = \frac{0{,}097}{0{,}3925} = 0{,}247\ kg$

$x_1 = \frac{m_1''}{m_1' + m_1''} = 0{,}0824$

$v_1 = \frac{V_1}{m_{uk}} = \frac{0{,}1}{2{,}751 + 0{,}1247} = 0{,}03336\ m^3/kg \qquad m_{uk} = m_1' + m_1'' = 2{,}998\ kg$

$s_1 = s_1' + x_1(s_1'' - s_1') = 1{,}842 + 0{,}0824 \cdot (6{,}837 - 1{,}842) = 2{,}256\ kJ/kgK$

$h_1 = h_1' + x_1(h_1'' - h_1') = 632{,}25 + 0{,}0824 \cdot (2745{,}92 - 632{,}25) = 806{,}42\ kJ/kg$

a) $p_{2S} = 1\ bar$

$s_1 = s_{2S} = 2{,}256\ kJ/kgK$

$s_{2S}' = 1{,}3026\ kJ/kgK$

$s_{2S}'' = 7{,}3588\ kJ/kgK$

$x_{2S} = \frac{s_{2S} - s_{2S}'}{s_{2S}'' - s_{2S}'} = \frac{2{,}256 - 1{,}3026}{7{,}3588 - 1{,}3026} = 0{,}1574$

$h_{2S} = h_{2S}' + x_{2S} \cdot (h_{2S}'' - h_{2S}') = 417{,}436 + 0{,}1574 \cdot (2674{,}95 - 417{,}436) = 772{,}77\ kJ/kg$

$\vartheta_{2S} = 99{,}61\ °C$

$v_{2S} = v_{2S}' + x_{2S}(v_{2S}'' - v_{2S}') = 0{,}0010431 + 0{,}1574(1{,}694 - 0{,}0010431) = 0{,}2675\ m^3/kg$

$V_{2S} = v_{2S} \cdot m_{uk} = 0{,}802\ m^3$

$Q_{12S} = \phi$

$W_{12S} = m_{uk}(h_1 - p_1 v_1 - h_{2S} + p_{2S} \cdot v_{2S}) = 133{,}46\ kJ$

b) $V_{2T} = V_{2S}$

$V_{2T} > V_K$

$p_1 = p_{2T} = 4{,}761\ bar$

$v_{2T}' = 0{,}0010904\ m^3/kg$

$v_{2T}'' = 0{,}3925\ m^3/kg$

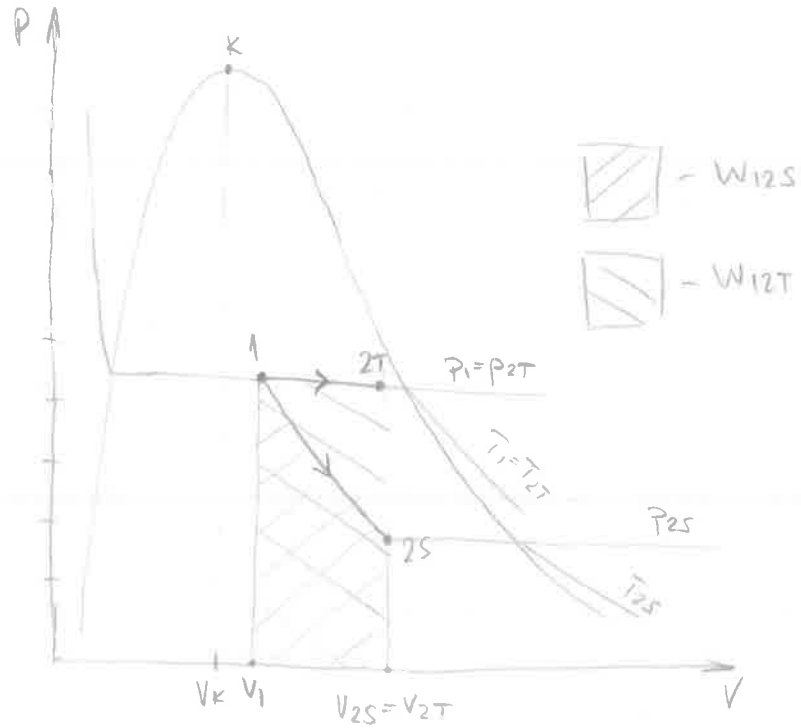
$x_{2T} = \frac{v_{2T} - v_{2T}'}{v_{2T}'' - v_{2T}'} = 0{,}6806$

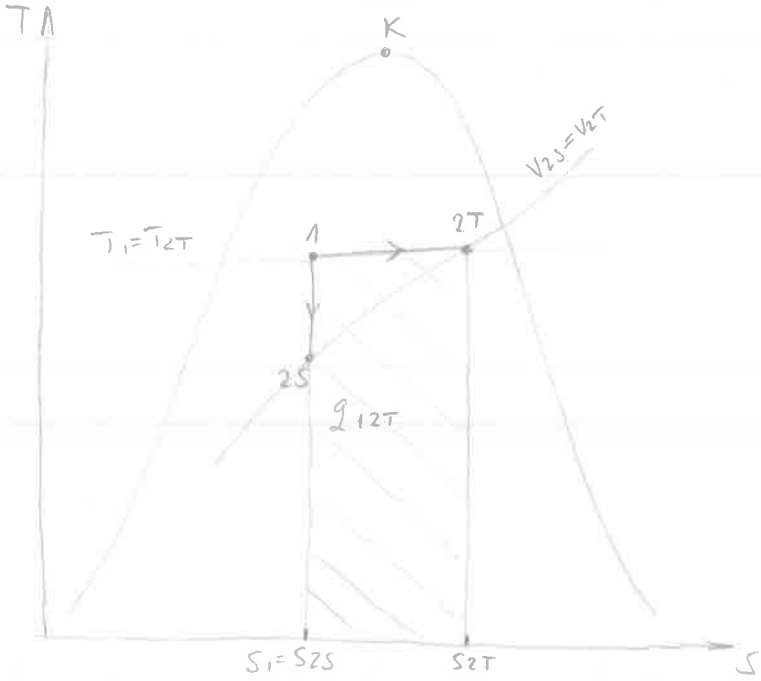
$h_{2T} = h_{2T}' + x_{2T}(h_{2T}'' - h_{2T}') = 2070{,}81\ kJ/kg$

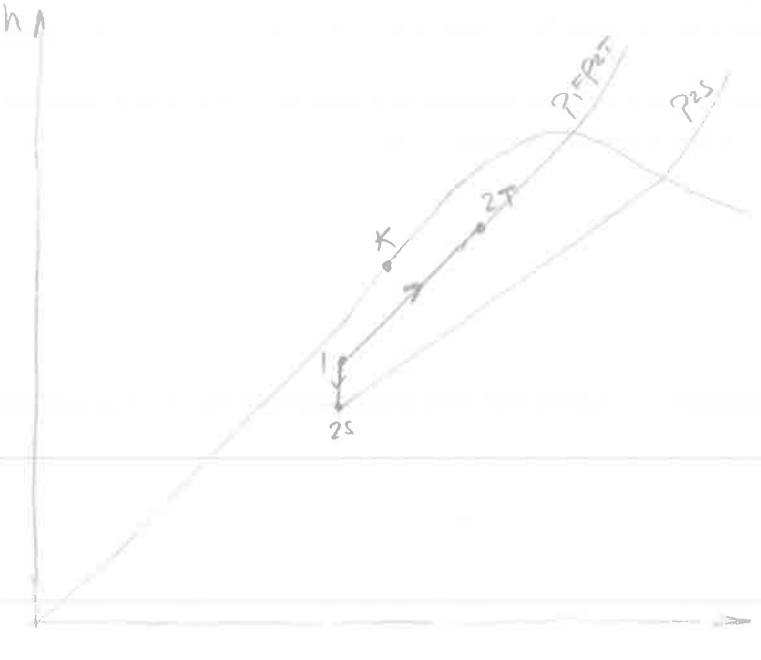
$Q_{12T} = m \cdot (x_{2T} - x_1) \cdot (h_1'' - h_1') = 2{,}998 \cdot (0{,}6806 - 0{,}0824) \cdot (2745{,}92 - 632{,}25) = 3790{,}7\ kJ$

$W_{12T} = m \cdot p \cdot (x_{2T} - x_1) \cdot (v_1'' - v_1') = 2{,}998 \cdot 4{,}761 \cdot 10^5 \cdot (0{,}6806 - 0{,}0824) \cdot (0{,}3925 - 0{,}0010904)$

$W_{12T} = 334{,}2\ kJ$


P
K
- W12S
- W12T
1
2T
P1=P2T
T1=T2T
P2S
2S
T2S
VK V1
V2S=V2T
V


T
K
V2S=V2T
T1=T2T
1
2T
2S
Q12T
S1=S2S
S2T
S


h
P1=P2T
P2S
K
2T
1
2S
S

4. $\lambda_č = 58\ W/mK$

$d_u/d_v = 20/24\ mm$

$\vartheta_a = -20\ °C$

$w = 0{,}5\ m/s$

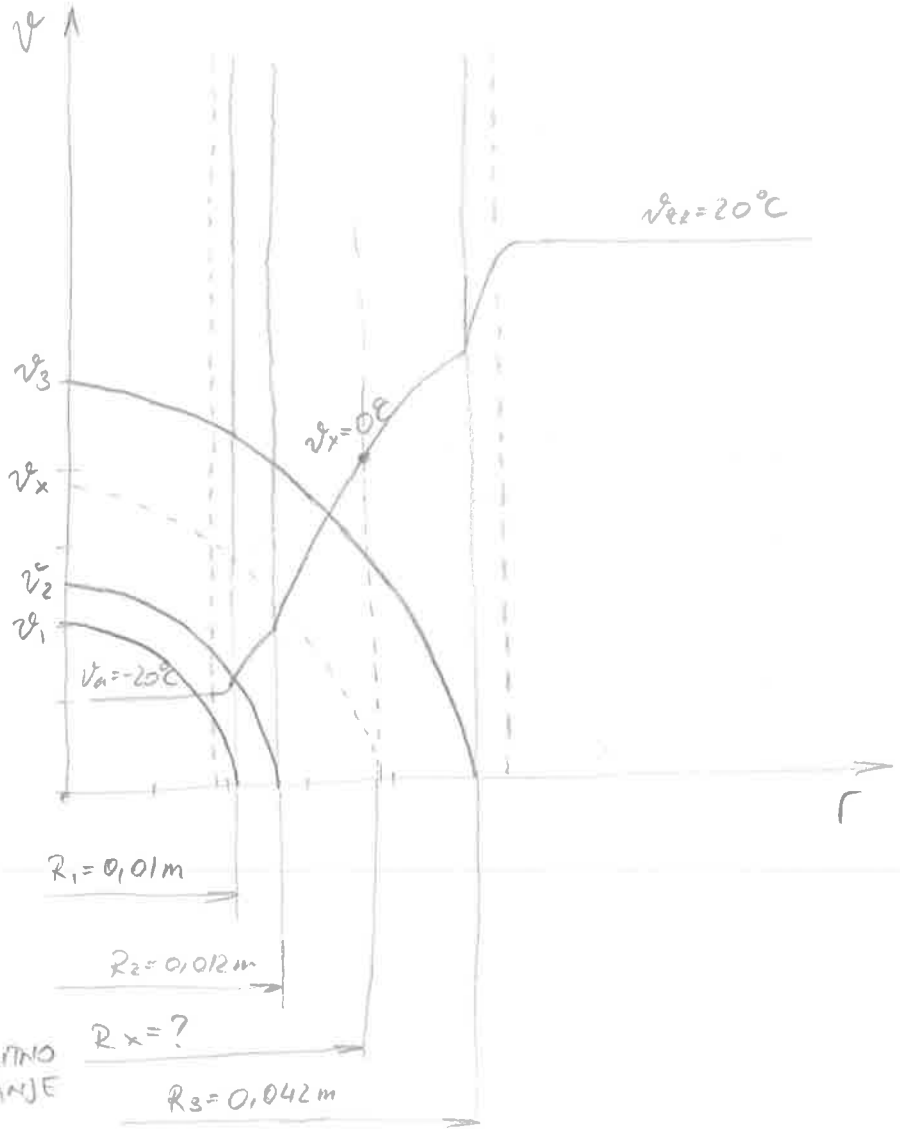
$\delta_i = 30\ mm \quad \lambda_i = 0{,}08\ W/mK$

$\vartheta_{ze} = 20\ °C$

$\alpha_{k,v} = 4{,}5\ W/m^2K$

$\vartheta_{zid} = 24\ °C$

$\varepsilon_v = 0{,}9$



TT. Str. 47.

$\rho' = 665{,}14\ kg/m^3$

$c_p' = 4{,}5138\ kJ/kgK$

$\lambda' = 0{,}62196\ W/mK$

$\mu' = 214{,}41 \cdot 10^{-6}\ Pa\,s$

$\nu = \frac{\mu'}{\rho'} = 3{,}2 \cdot 10^{-7}\ m^2/s$

$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}02}{3{,}2 \cdot 10^{-7}}$

$Re = 31250 > 3000 \rightarrow$ TURBULENTNO STRUJANJE

$Nu = \frac{0{,}0398 \cdot Pr \cdot Re^{0{,}75}}{1 + 1{,}74 \cdot Re^{-0{,}125}(Pr - 1)}$

$Pr = \frac{\mu' \cdot c_p'}{\lambda'} = 1{,}556$

$Nu = 115$

$Nu = \frac{\alpha_u \cdot d_u}{\lambda'} \rightarrow \alpha_u = \frac{Nu \cdot \lambda'}{d_u} = \frac{115 \cdot 0{,}62196}{0{,}02} \rightarrow \alpha_u = 3576{,}3\ W/m^2K$

→ zbog stacionarnosti procesa mora vrijediti

$$\frac{(T_a - T_3) \cdot 2\pi L}{\frac{1}{R_1 \cdot \alpha_u} + \frac{1}{\lambda_č} \ln\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_i} \ln\frac{R_3}{R_2}} = \alpha_{k,v} \cdot (T_3 - T_{zR}) \cdot 2R_3\pi L + \varepsilon_v \cdot 2R_3\pi L \cdot \sigma \cdot (T_3^4 - T_{zid}^4)$$

KONVEKCIJA + ZRAČENJE

$\rightarrow A = 15{,}69$

SOLVE $\rightarrow T_3 = 289{,}6\ K \ (\vartheta_3 = 16{,}4\ °C)$

$$\frac{\Phi}{L} = \alpha_{k,v} \cdot (T_{ze} - T_3) \cdot 2\pi R_3 + \varepsilon_v \cdot 2\pi R_3 \cdot \sigma (T_{zid}^4 - T_3^4) = 14{,}49\ W/m$$

$R_x = ?$ $\vartheta_x = 0\,°C$

$$\frac{\Phi}{L} = \frac{(\vartheta_3 - \vartheta_x)\cdot 2\pi}{\frac{1}{\lambda_1}\ln\frac{R_3}{R_x}}$$

$$14,5 = \frac{16,4\cdot 2\pi}{\frac{1}{0,08}\ln\cdot\frac{0,042}{R_x}} \xrightarrow{\text{SOLVE}} R_x = 0,0238\,m = 23,8\,mm$$

5. $n = 30$

$\lambda_{\check{c}} = 40\ W/mK$

$d_u/d_v = 25/30\ mm$

$\alpha_u = 1200\ W/m^2K$

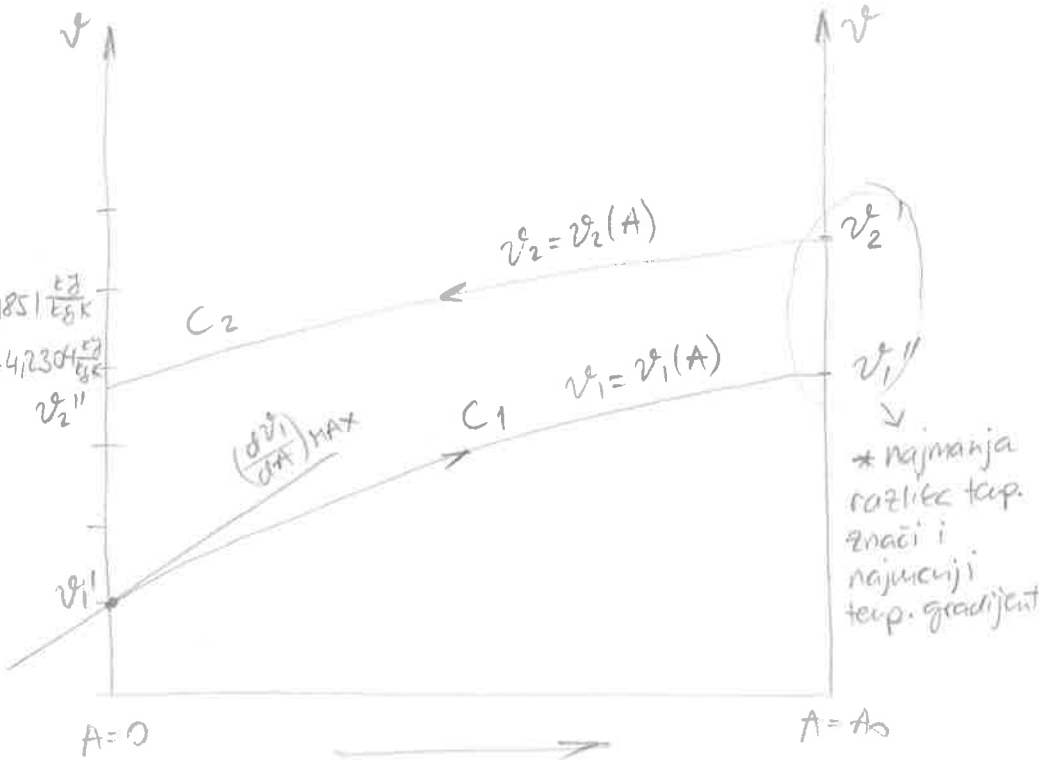
$\alpha_v = 900\ W/m^2K$ TT. str. 43

$q_{m_1} = 1{,}2\ kg/s$ $c_{p_1}(za\ 20°C) = 4{,}185\ \frac{kJ}{kgK}$

$q_{m_2} = 2{,}3\ kg/s$ $c_{p_2}(za\ 110°C) = 4{,}2304\ \frac{kJ}{kgK}$

$\vartheta_1' = 20°C$

$\vartheta_2' = 110°C$



$\left(\frac{d\vartheta_2}{dL}\right)_{MIN} = 4\ °C/m$ $L = ?$

$\dot{Q} = ?$ $\vartheta_1'' = ?$ $\vartheta_2'' = ?$

$\left(\frac{d\vartheta_1}{dA}\right)_{MAX} = ?$

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_u} + \frac{R_v}{\lambda_{\check{c}}} \ln\frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{0{,}015}{0{,}0125 \cdot 1200} + \frac{0{,}015}{40} \ln\frac{0{,}015}{0{,}0125} + \frac{1}{900}} = 458{,}8\ W/m^2K$$

$$C_2 \cdot d\vartheta_2 = k_v \cdot (\vartheta_2' - \vartheta_1'') \cdot dA = k_v \cdot (\vartheta_2' - \vartheta_1'') \cdot d_v \pi \cdot n \cdot dL \ / : dL \ / : C_2$$

$$\left(\frac{d\vartheta_2}{dL}\right)_{MIN} = \frac{k_v(\vartheta_2' - \vartheta_1'') \cdot d_v \cdot \pi \cdot n}{C_2} \qquad C_2 = q_{m_2} \cdot c_{p_2} = 2{,}3 \cdot 4{,}2304 \cdot 10^3 = 9667{,}8\ W/K$$

$$\vartheta_1'' = \vartheta_2' - \frac{\left(\frac{d\vartheta_2}{dL}\right)_{MIN} \cdot C_2}{k_v \cdot d_v \cdot \pi \cdot n} = 110 - \frac{4 \cdot 9667{,}8}{458{,}8 \cdot 0{,}03\pi \cdot 30}$$

$$\vartheta_1'' = 80{,}2\ °C$$

$$\Pi_1 = \frac{\vartheta_1' - \vartheta_1''}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = \frac{20 - 80{,}2}{20 - 110} = 0{,}6689$$

$$\Pi_3 = \frac{C_1}{C_2} = \frac{q_{m_1} \cdot c_{p_1}}{q_{m_2} \cdot c_{p_2}} = \frac{5022{,}12}{9667{,}8} = 0{,}52$$

$$\Pi_2 = \frac{\ln\frac{1 - \Pi_1}{1 - \Pi_1 \cdot \Pi_3}}{-(1 - \Pi_3)} \rightarrow \Pi_2 = 1{,}41$$

$$\Pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1} = \frac{k_v \cdot d_v \pi \cdot n \cdot L}{C_1}$$

$$L = \frac{\Pi_2 \cdot C_1}{k_v \cdot d_v \cdot \pi \cdot n} = \frac{1{,}41 \cdot 5022{,}12}{458{,}8 \cdot 0{,}03\pi \cdot 30} = 5{,}46\ m$$

$$\Phi = C_1 \cdot (\vartheta_1'' - \vartheta_1') = 5022{,}12 \cdot (80{,}2 - 20) = 302{,}3 \text{ kW}$$

$$\frac{\vartheta_2'' - \vartheta_2'}{\vartheta_1' - \vartheta_2'} = \Pi_1 \cdot \Pi_3 \quad \text{(podloge za vježbe str. 149.)}$$

$$\hookrightarrow \vartheta_2'' = \Pi_1 \cdot \Pi_3 \cdot (\vartheta_1' - \vartheta_2') + \vartheta_2'$$

$$\vartheta_2'' = 0{,}6689 \cdot 0{,}52\,(20 - 110) + 110$$

$$\vartheta_2'' = 78{,}7\,^\circ\text{C}$$

Najveći temperaturni gradijent je uvijek na ulazu slabije struje (struje 1) u izmjenjivač!

$$C_1\, d\vartheta_1 = k_v\,(\vartheta_2'' - \vartheta_1') \cdot dA_v \qquad \boxed{k_v \cdot A_v = k_u \cdot A_u} \rightarrow \text{svejedno je za koju površinu računamo jer je i koef. prolaza svedeu na 1stu površinu!}$$

$$\left(\frac{d\vartheta_1}{dA_v}\right)_{MAX} = \frac{k_v \cdot (\vartheta_2'' - \vartheta_1')}{C_1} = \frac{458{,}8\,(78{,}7 - 20)}{5022{,}12} = 5{,}36\,^\circ\text{C/m}^2$$

6. $y_{C_3H_8} = 0,8$

$y_{C_4H_{10}} = 0,2$

$\vartheta_G = 0°C$

$\vartheta_z = 100°C$

$y_{CO_2} = 0,12$

$q_{mG} = 100\ kg/h$

$\vartheta_{izg} = 1400°C$

$\lambda = ?\quad \frac{n_{vap}}{n_{sap}} = ?\quad \Phi_{odv} = ?$

$1\,kmol\,C_3H_8 + 5\,kmol\,O_2 \rightarrow 3\,kmol\,CO_2 + 4\,kmol\,H_2O$

$1\,kmol\,C_4H_{10} + 6,5\,kmol\,O_2 \rightarrow 4\,kmol\,CO_2 + 5\,kmol\,H_2O$

$n_{CO_2} = y_{C_3H_8} \cdot 3 + y_{C_4H_{10}} \cdot 4 = 3,2\ kmol_{CO_2}/kmol_G$

$n_{H_2O} = 0,8 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,2\ kmol_{H_2O}/kmol_G$

$O_{min} = 0,8 \cdot 5 + 0,2 \cdot 6,5 = 5,3\ kmol_{O_2}/kmol_G$

$n_{O_2} = (\lambda - 1) \cdot O_{min} = 5,3\lambda - 5,3$

$n_{N_2} = 0,79 \cdot z_{stv} = 0,79 \cdot \lambda \frac{O_{min}}{0,21} = 19,94\lambda$

$$y_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{sap}} = \frac{n_{CO_2}}{n_{CO_2} + n_{O_2} + n_{N_2}} = 0,12$$

$$0,12 = \frac{3,2}{3,2 + (5,3\lambda - 5,3) + 19,94\lambda} \xrightarrow{SOLVE} \lambda = 1,14$$

$n_{sap} = n_{CO_2} + n_{O_2} + n_{N_2} = 26,67\ kmol_{sap}/kmol_G$

$n_{vap} = n_{sap} + n_{H_2O} = 26,67 + 4,2 = 30,87\ kmol_{vap}/kmol_G$

$\frac{n_{vap}}{n_{sap}} = \frac{30,87}{26,67} = 1,1575 \rightarrow$ količina vap je za 15,75% več. od količine sap

$$\vartheta_{izg} = \frac{\Delta H_{rmd} + [Cup_G]_0^{\vartheta_G} \cdot \vartheta_G + z_{stv} \cdot [Cup_z]_0^{\vartheta_z} \cdot \vartheta_z - |\dot{q}_{odv}|}{\sum n_i [Cup_i]_0^{\vartheta_{izg}}} \rightarrow \Phi$$

$\Delta H_{rmd} = y_{C_3H_8} \cdot H_{rmd_{C_3H_8}} + y_{C_4H_{10}} \cdot H_{rmd_{C_4H_{10}}} = 0,8 \cdot 2044 + 0,2 \cdot 2658,5 = 2166,9\ MJ/kmol$

$z_{stv} = \lambda \frac{O_{min}}{0,21} = 1,14 \cdot \frac{5,3}{0,21} = 28,77\ kmol_z/kmol_G$

TT. str. 2.

$[Cup_z]_0^{100} = 29,153\ kJ/kmol\,K$

$[Cup_{CO_2}]_0^{1400} = 51,858\ kJ/kmol\,K$

$[Cup_{H_2O}]_0^{1400} = 40,976\ kJ/kmol\,K$

$[Cup_{O_2}]_0^{1400} = 34,076\ kJ/kmol\,K$

$[Cup_{N_2}]_0^{1400} = 32,293\ kJ/kmol\,K$

$n_{O_2} = 5,3 \cdot \lambda - 5,3 = 0,742\ kmol_{O_2}/kmol_G$

$n_{N_2} = 19,94 \cdot \lambda = 22,73\ kmol_{N_2}/kmol_G$

$$\sum n_i [Cup_i]_0^{1400} = n_{O_2} \cdot [Cup_{O_2}]_0^{1400} + n_{N_2} \cdot [Cup_{N_2}]_0^{1400} + n_{CO_2} [Cmp_{CO_2}]_0^{1400} + n_{H_2O} [Cup_{H_2O}]_0^{1400}$$

$$\sum n_i [c_{pi}]_0^{1400} = 1097{,}35 \ kJ/kmolK$$

$$1400 = \frac{2166{,}9 \cdot 10^3 + 28{,}177 \cdot 29{,}153 \cdot 100 - |Q_{odvj}|}{1097{,}35}$$

$$Q_{odv} = 714483{,}2 \ kJ/kmol$$

$$Q_{mG} = 100 \ kg/h = 0{,}0278 \ kg/s$$

$$M_G = Y_{C_3H_8} \cdot M_{C_3H_8} + Y_{C_4H_{10}} \cdot M_{C_4H_{10}} = 46{,}87 \ kg/kmol$$

$$Q_{nG} = \frac{Q_{mG}}{M_G} = \frac{0{,}0278}{46{,}87} = 5{,}93 \cdot 10^{-4} \ kmol/s$$

$$\dot{\Phi}_{odv} = Q_{odv} \cdot Q_{nG} = 423{,}4 \ kW$$